

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPÉEN

(21) Numéro de dépôt: 85401838.9

(22) Date de dépôt: 23.09.85

(51) Int. Cl.: **C 07 D 273/00, G 01 N 33/533,**
C 07 D 498/22, C 07 F 5/00
 //
 (C07D498/22, 273:08, 273:08,
 221:00, 221:10),(C07D498/22,
 273:08, 273:08),(C07D498/22,
 259:00, 259:00, 221:10, 221:10,
 221:10, 221:10, 221:10, 221:10)

(30) Priorité: 26.09.84 FR 8414799

(71) Demandeur: **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE**
Etablissement de Caractère Scientifique Technique et
Industriel, 31/33, rue de la Fédération, F-75015 Paris (FR)

(43) Date de publication de la demande: 07.05.86
 Bulletin 86/19

(72) Inventeur: **Mathis, Gerard, 17, Impasse de la Capelle des**
Ladres, F-30200 - Bagnols S/Ceze (FR)
 Inventeur: **Lehn, Jean Marie, 21, rue d'Oslo, F-67000 -**
Strasbourg (FR)

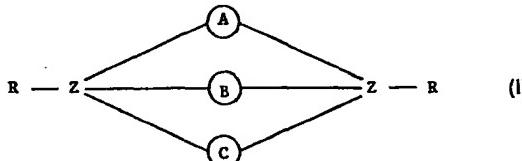
(24) Etats contractants désignés: **AT BE CH DE FR GB IT LI**
LU NL SE

(74) Mandataire: **Gillard, Marie-Louise et al, Cabinet Beau de**
Loménie 55, Rue d'Amsterdam, F-75008 Paris (FR)

(54) **Complexes macropolycycliques de terres rares et application à titre de marqueurs fluorescents.**

(57) La présente invention concerne, à titre de marqueurs de produits biologiques dans les méthodes de détection et de détermination immunologiques par fluorescence, des complexes macropolycycliques de terres rares constitués d'au moins un sel de terre rare complexé par un composé macropolycyclique de formule générale:

périeure à celle du niveau émissif de l'ion de terre rare complexé.



dans laquelle Z est un atome ayant 3 ou 4 valences, R est rien ou représente l'hydrogène, le groupe hydroxy, un groupe amino ou un radical hydrocarboné, les radicaux bivalents **Ⓐ**, **Ⓑ** et **Ⓒ** sont indépendamment l'un de l'autre des chaînes hydrocarbonées qui contiennent éventuellement un ou plusieurs hétéroatomes et sont éventuellement interrompues par un hétéromacrocycles, au moins l'un des radicaux **Ⓐ**, **Ⓑ** ou **Ⓒ** comportant de plus au moins un motif moléculaire ou étant essentiellement constitué par un motif moléculaire, ledit motif moléculaire possédant une énergie de triplet su-

Complexes macropolycycliques de terres rares et application à titre de marqueurs fluorescents.

La présente invention, qui résulte de travaux effectués en collaboration avec le Professeur J.M. LEHN et son équipe de recherche de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, concerne le domaine de la fluorescence et plus particulièrement des complexes macropolycycliques fluorescents, qui conviennent notamment comme marqueurs dans les dosages immunologiques.

Il est connu que les méthodes de détection utilisant la fluorescence sont intrinsèquement très sensibles et pourraient permettre des limites de détection inférieures à celles atteintes par des mesures de radioactivité, en particulier par l'utilisation de sources Laser (I. Wieder *Immunofluorescence and related staining techniques*, 1978, Elsevier).

Cependant, dans la pratique, ces limites de détection ne sont pas atteintes car la mesure s'effectue dans une matrice qui ne présente pas les qualités requises pour atteindre cet optimum. En général, le milieu de mesure est trouble et favorise la diffusion, et d'autres molécules fluorescentes à la même longueur d'ondes peuvent être présentes dans le milieu de mesure.

Dans certains cas, les améliorations apportées à l'appareillage de mesure ne suffisent pas à améliorer de façon sensible cette limite de détection ou sont très coûteuses (Laser, monochromateurs, etc.).

Cet état de fait est encore plus gênant dans le domaine de la biochimie et de l'immunologie où la mesure de très petites quantités de molécules actives doit s'effectuer dans des milieux biologiques qui peuvent présenter un trouble ou contenir des protéines ou autres molécules elles-mêmes fluorescentes (trouble et fluorescence intrinsèque du sérum).

Dans les dosages immunologiques utilisant un traceur fluorescent, et lorsque l'on marque l'antigène ou l'anticorps avec la molécule fluorescente, celle-ci doit posséder les propriétés suivantes :

- elle doit posséder une fonction chimique permettant un couplage avec la molécule biologique sans la dénaturer ni modifier ses propriétés immunologiques ;

- le coefficient d'absorption molaire de la molécule fluorescente doit être le plus élevé possible ;
- le rendement quantique de fluorescence doit être le plus élevé ;
- le déplacement de Stokes doit être le plus important possible ;
- 5 - la longueur d'onde d'émission doit être si possible supérieure à 500 nm;
- elle doit être soluble dans l'eau ou les solutions tampon. Ces conditions sont précisées par exemple dans l'article de E. SOINI dans Clin. Chem. 25, 353 (1979).

10 Or les molécules connues jusqu'à présent sont loin de posséder toutes ces qualités.

La fluorescence de certains chélates de terres rares est connue depuis de nombreuses années grâce aux travaux concernant leur application dans le domaine des lasers (A.P.B. SINHA Spectroscop Inorg Chem. 2, 255 (1971)).

15 Ces complexes sont formés :

20 - d'une part d'une molécule chélatante possédant un système électronique capable de peupler l'état triplet T_1 par conversion inter-système après excitation de l'état singulett S_1 suite à l'absorption d'énergie lumineuse ;

25 - d'autre part d'un ion de terre rare, qui dans le cas des applications de fluorescence possède une forte intensité de fluorescence d'ion (Eu, Tb) ou une intensité moyenne (Sm, Dy) et dont le niveau résonant est peuplé par transfert d'énergie non radiative à partir de l'état triplet du complexant.

30 Pour obtenir une forte fluorescence du chélate de terre rare il faut que l'énergie triplet de la molécule complexante soit supérieure à celle du niveau résonant de l'ion et que sa durée de vie soit suffisante (prépondérance de ce type de désactivation vis-à-vis d'autres processus, tels que phosphorescence et désactivation non radiative, par exemple thermique).

Dans ce cas, après excitation dans la bande d'absorption du chélate on observe une fluorescence caractéristique de l'ion de terre rare.

Ces composés possèdent de grands avantages dans le domaine de la détection par mesure de fluorescence ; par exemple ils sont caractérisés par :

- un déplacement de Stokes important ,
- 5 - un coefficient d'absorption molaire ϵ élevé par rapport à celui de la terre rare ,
- une possibilité de détection simultanée de plusieurs chélates en changeant la terre rare ,
- 10 - un spectre d'émission caractéristique de la terre rare (spectre de raie, λ d'émission maximale $> 500 \text{ nm}$) ,
- durée de vie longue (de la microseconde à la milliseconde).

Le brevet US 4 058 732 décrit une méthode de spectroscopie analytique par fluorescence mettant en oeuvre des molécules fluorescentes (chélates de terres rares) ayant une durée de vie relativement longue. Etant donné que la diffusion due aux particules de la matrice et que la fluorescence de la plupart des molécules organiques qui la composent sont des phénomènes de courte durée de vie (généralement inférieurs à $1 \mu\text{sec.}$) on préconise dans ce brevet une excitation pulsée et un chélate de terre rare fonctionnalisé pour marquer les molécules biologiques à identifier, la détection s'effectuant entre chaque pulsation et après un temps suffisamment long pour que les phénomènes non souhaités aient diminué de façon substantielle.

Selon l'art antérieur cité ci-après, les chélates de terres rares présentent théoriquement toutes les conditions pour constituer une classe de molécules fluorescentes idéales, en particulier à titre de marqueurs pour les molécules biologiques dans les dosages immunologiques, en cytologie et pour les trieurs de cellules :

- 30 - brevet US 4 058 732
- SOINI Clin. Chem. 25 353 (1979)
- LM VALLARINO et al. in Automation of Uterine Cancer Cytology 2 Proceeding of 2nd Int. Conf., GL WIED, G.F. GAHR, PH. BARTEL Editors Tutorials of Cytology Chicago IL 1977.

Or, dans la pratique on constate que les chélates utilisés jusqu'à présent ne présentent pas toutes les qualités suivantes exigées par ces applications, qui sont principalement :

- 5 - un rendement quantique de fluorescence et un coefficient d'absorption molaire élevés,
- une énergie Triplet du chélatant adaptée,
- une non-inhibition par le solvant (eau ou autre) ou par des molécules présentes dans le milieu où s'effectue la mesure,
- 10 - une facilité de la fonctionnalisation en vue d'un couplage sur des molécules d'intérêt biologique ou autres,
- une sélectivité de la chélation en faveur de la terre rare et aux dépens d'autres cations qui peuvent se trouver en quantité importante dans le milieu de mesure,
- 15 - une solubilité dans l'eau dans les conditions d'application des dosages immunologiques,
- une grande stabilité en particulier à faible dilution.

Les chélates de β -dicétones décrits dans le brevet US 4 048 732 ne sont que peu ou pas solubles dans l'eau et les milieux biologiques et leur fluorescence est inhibée en grande partie par l'eau.

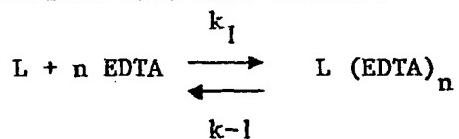
D'autres chélates ont été proposés comme marqueurs dans des dosages immunologiques ; on peut citer notamment les chélates dérivés d'EDTA, HEDTA et DTPA, d'imidodiacétate et similaires décrits par exemple dans : Proc. Nat. Acad. Sci. USA 72 4764 (1975), le brevet US 4 374 120 et dans les demandes de brevets EP-A-0068875 et DE-OS 3 033 691. Leur efficacité est supposée provenir de la valeur élevée de leur constante de stabilité en général supérieure à 10^{10} .

Un tel critère, basé uniquement sur des considérations thermodynamiques, n'est certainement pas suffisant puisqu'il a été montré qu'il se produit une augmentation de la durée de vie d'un complexe Tb (III) EDTA par addition d'apotransférine (Biochem. 19, 5057, 1980), caractéristique d'une liaison protéine - chélate.

Récemment, il a été conseillé, lors de l'utilisation de marqueurs du type Eu(III) EDTA, tels que ceux décrits dans le brevet US 4 374 120, d'utiliser un tampon contenant du DTPA pour éliminer l'europium libre qui s'est dissocié du chélate, ce qui 5 prouve bien l'instabilité de tels chélates (Clin. Chem. 29, 60, 1983).

Cet état de l'art antérieur montre que les chélates de terres rares mis en oeuvre jusqu'à présent ne sont pas utilisables à faible dilution dans des milieux aqueux contenant d'autres cations 10 ou dans des milieux biologiques et en particulier dans les dosages immunologiques et qu'il convient de tenir compte des critères, tels que la stabilité cinétique (vitesse de dissociation du complexe) et la sélectivité de la complexation de la terre rare.

On notera d'ailleurs que la plupart des chélates de 15 l'art antérieur ont trouvé, grâce à leur constante de formation élevée (en général $> à 10^{10}$) une application en imagerie γ technique dans laquelle on utilise des ions lourds émetteurs γ de durée de vie relativement faible, obtenus en solutions aqueuses diluées. La fixation de l'ion doit alors s'effectuer rapidement sur la molécule 20 d'intérêt biologique portant le chélatant ; en particulier la vitesse de formation du chélate doit être élevée :



25 k_1 et $k-1$ étant respectivement les constantes de vitesse de formation et de dissociation ; à l'équilibre on a :

$$K = \frac{k_1}{k-1} = \frac{\text{L (EDTA)}_n}{[\text{L}] [\text{EDTA}]^n}$$

30 Pour les complexes utilisés jusqu'à présent, et pour les raisons évoquées ci-dessus, on a toujours utilisé des chélates permettant d'obtenir une valeur de k_1 élevée [$\approx 1,9 \cdot 10^{22} \text{ M}^{-1} \text{ min}^{-1}$ pour Eu^{3+} EDTA - voir J. inorg. nucl. Chem. 1971, 33 p.127]. Il en résulte que pour une valeur donnée de K la constante 35 de vitesse de dissociation est relativement importante, ce qui

signifie que la vitesse d'échange de l'ion entre le chélate et la solution est relativement rapide.

On a maintenant trouvé des complexes macropolycycliques de terres rares qui possèdent d'excellentes propriétés de sélectivité et de stabilité, notamment de stabilité cinétique dans les milieux aqueux et les milieux biologiques. Ces complexes macropolycycliques conviennent particulièrement bien comme marqueurs fluorescents de substances biologiques dans des techniques de détection ou de détermination immunologiques par fluorescence. Ils sont également appropriés comme réactifs dans des réactions de luminescence.

On a en effet trouvé qu'il était possible d'exalter la fluorescence d'un ion de terre rare en solution aqueuse en complexant celui-ci à l'aide d'un composé macropolycyclique possédant un motif donneur d'énergie triplet supérieure à celle du niveau émissif de l'ion de terre rare et en excitant le motif donneur.

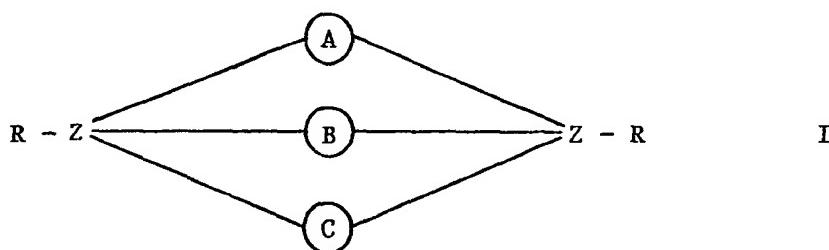
Alors que l'excitation d'un ion de terre rare produit une très faible fluorescence étant donné que les terres rares possèdent en général des coefficients d'absorption molaires ϵ faibles, l'excitation du motif donneur du composé macropolycyclique défini ci-après permet d'obtenir une exaltation de la fluorescence caractéristique de l'ion de terre rare. Les complexes de terres rares ainsi formés sont d'excellents marqueurs fluorescents, qui de plus sont des composés stables en milieu aqueux, doués d'une très grande sélectivité vis-à-vis des ions terres rares.

Contrairement aux chélates de l'art antérieur, caractérisés par une constante de formation élevée, les complexes de terres rares selon l'invention possèdent, comme caractéristique essentielle, une stabilité cinétique élevée (faible vitesse de dissociation). Cette caractéristique est d'autant plus importante que les solutions biologiques utilisées dans les méthodes de détection et de détermination immunologiques contiennent en général des protéines capables elles aussi de fixer l'ion terre rare. Par contre la vitesse de formation des complexes de l'invention n'est pas critique. La complexation de l'ion terre rare d'une part et le couplage du complexe obtenu sur la molécule biologique d'autre part peuvent être réalisés séparément. Il en résulte que la

complexation de l'ion terre rare selon l'invention peut être réalisée dans des conditions non biologiques (utilisation de solvants organiques, apports d'énergie possibles, temps, etc.)

Sous un premier aspect, la présente invention concerne donc l'utilisation, à titre de marqueurs fluorescents, notamment dans les méthodes de détection et de détermination immunologiques, de complexes macropolycycliques de terres rares qui sont constitués d'au moins un sel de terre rare complexé par un composé macropolycyclique de formule générale :

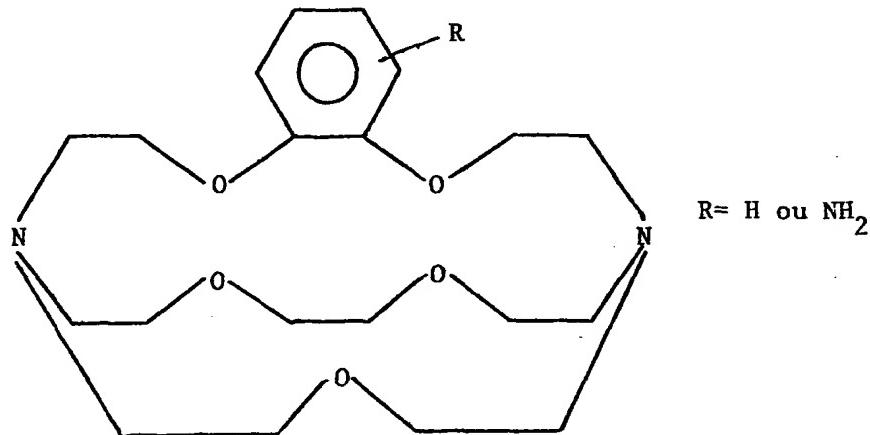
10



dans laquelle Z est un atome ayant trois ou quatre valences, tel que l'azote, le carbone ou le phosphore, R est rien ou représente l'hydrogène, le groupe hydroxy, un groupe amino ou un radical hydrocarboné, les radicaux bivalents (A), (B) et (C) sont indépendamment l'un de l'autre des chaînes hydrocarbonées qui contiennent éventuellement un ou plusieurs hétéroatomes et sont éventuellement interrompues par un hétéromacrocycle, au moins l'un des radicaux (A), (B) ou (C) comportant de plus au moins un motif moléculaire ou étant essentiellement constitué par un motif moléculaire, ledit motif moléculaire possédant une énergie de triplet supérieure à celle du niveau émissif de l'ion de terre rare complexé.

Selon un autre aspect, l'invention concerne également un procédé d'exaltation de fluorescence d'un ion de terre rare, qui consiste à complexer au moins un ion de terre rare avec un composé macropolycyclique, tel que défini ci-dessus possédant un motif moléculaire donneur d'énergie triplet supérieure à celle du niveau émissif de l'ion de terre rare et à exciter le complexe ainsi formé à la longueur d'onde d'absorption dudit motif donneur. Les complexes de terres rares définis ci-dessus sont des composés nouveaux à l'exception des complexes d'europium

et de terbium obtenus avec le composé macropolycyclique de formule ci-après :



Ainsi la présente invention concerne également à titre de composés nouveaux les complexes de terres rares constitués d'au moins un sel de terre rare complexé par composé macropolycyclique de formule I ci-dessus à la condition que, lorsque le 10 sel de terre rare est un sel d'europtium ou de terbium, Z est l'azote, (A) est $-(CH_2)_2-O-C_6H_3R-O-(CH_2)_2-$ avec $R=H$ ou NH_2 , (B) et (C) ne sont pas simultanément l'un le radical $-(CH_2)_2-O-(CH_2)_2-O-(CH_2)_2-$ et l'autre le radical $-(CH_2)_2-O-(CH_2)_2-$.

Les chaînes hydrocarbonées qui constituent les 15 radicaux (A), (B) et (C) peuvent contenir 2 atomes de carbone ou plus et être éventuellement interrompues par un ou plusieurs hétéroatomes choisis parmi les atomes d'oxygène, de soufre ou d'azote.

Les chaînes hydrocarbonées préférées aux fins de 20 l'invention sont les chaînes de polyéthers, en particulier les chaînes oxyéthylénées ou polyoxyéthylénées.

Le motif moléculaire, qui constitue un élément essentiel du composé macropolycyclique selon l'invention, est motif donneur d'énergie triplet, composé de molécules ou de groupes de molécules possédant une énergie de triplet supérieure à celle du niveau émissif de l'ion de terre rare complexé.

Le transfert d'énergie s'effectue depuis le niveau triplet du motif donneur vers l'un des niveaux émissifs de la terre rare complexée. Par exemple l'europtium possède les niveaux émissifs 5D_0 à 17270 cm^{-1} ; 5D_1 à 19030 cm^{-1} et éventuellement 5D_2 et le terbium le niveau émissif 5D_1 à 20480 cm^{-1} .

Les motifs donneurs d'énergie triplet qui conviennent aux fins de l'invention doivent posséder une énergie triplet supérieure ou égale à celle des niveaux émissifs de l'ion de terre rare. Par exemple, dans le cas des complexes d'euroium et de terbium selon l'invention, le niveau triplet du motif donneur doit être supérieur à 17270 cm^{-1} .

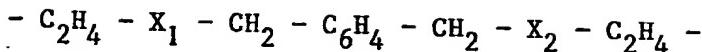
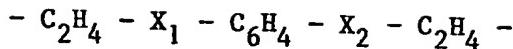
Le phénomène de phosphorescence étant dû à la désactivation radiative d'un état triplet, un critère de choix des motifs donneurs peut être la longueur d'onde d'émission de phosphorescence de ces motifs. On choisira par exemple les motifs qui émettent une phosphorescence à des longueurs d'ondes inférieures (énergies supérieures) aux longueurs d'ondes correspondant au peuplement des niveaux émissifs de la terre rare. Dans le cas présent la longueur d'onde de phosphorescence du motif donneur devra être inférieure à 580 nm.

On notera que les complexes selon l'invention peuvent avoir un ou plusieurs motifs donneurs, lesdits motifs donneurs constituant soit une partie, soit la totalité des radicaux (A), (B) et (C).

A titre de motifs moléculaires on peut utiliser de façon non limitative tous les sensibilisateurs de triplet ayant l'énergie triplet requise, par exemple ceux décrits dans la demande de brevet EP-A-0068875 ou dans Spectroscop. Inorg. Chem. 2, 255, 1971, ces documents étant cités dans la présente description à titre de référence.

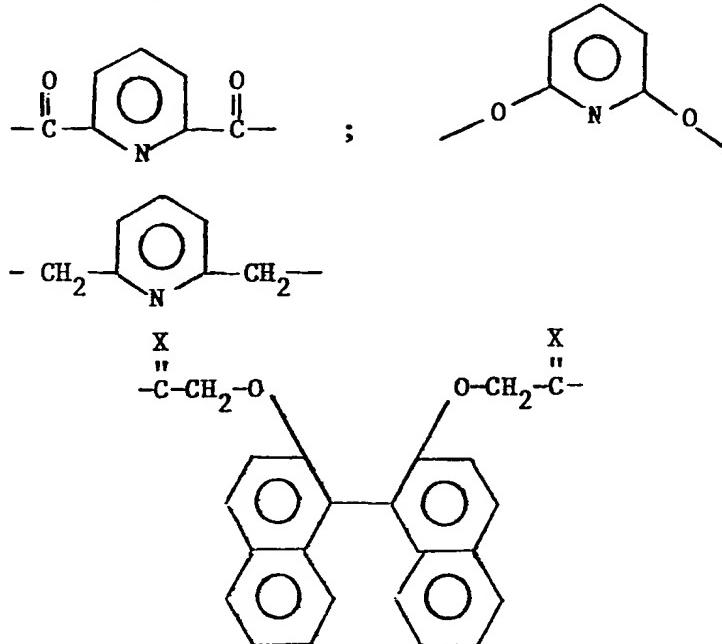
Des motifs moléculaires particulièrement préférés aux fins de l'invention sont la phénanthroline, l'anthracène, le benzène, le naphtalène, les bi- et ter-phényle, les bipyridines, les biquinoléines, notamment les bi-isoquinoléines, par exemple la 2,2'-bipyridine, l'azobenzène, l'azopyridine, la pyridine ou la 2,2'-bi-isoquinoléine.

A titre d'exemples de radicaux (A), (B) et (C) comportant un motif donneur d'énergie, on peut citer notamment les chaînes ci-après :



X₁ et X₂ pouvant être identiques ou différents désignent l'oxygène, l'azote ou le soufre ;

5



10

X étant l'oxygène ou l'hydrogène.

15

Les complexes macropolycycliques de terres rares selon l'invention peuvent être obtenus par les procédés classiques de préparation de complexes métalliques, qui consistent à faire réagir le composé complexant avec un composé donneur du cation à complexer. Des procédés de ce type sont décrits notamment dans les brevets US 3 888 377, 3 966 766 et 4 156 683, cités dans la présente description à titre de référence.

20

Par exemple, les complexes macropolycycliques peuvent être obtenus par réaction d'un composé donneur de cation de terre rare avec le composé macropolycyclique ayant les caractéristiques définies ci-dessus, chaque composé étant avantageusement en solution, de préférence dans le même solvant ou dans des solvants compatibles inertes vis-à-vis de la complexation. En général on utilise comme solvant l'acetonitrile, le DMSO, l'éthanol.

A titre de composé donneur de cation de terre rare on peut utiliser un sel quelconque de terre rare, avantageusement un chlorure, un acétylacétonate ou un nitrate.

On opère avantageusement à la température d'ébullition du solvant.

Lorsque le complexe macropolycyclique formé est soluble dans le solvant réactionnel, il est isolé de la solution par évaporation à siccité. Si le complexe macropolycyclique formé cristallise dans le solvant réactionnel, il est séparé par filtration ou tout autre moyen classique approprié. Les complexes ainsi obtenus peuvent être purifiés par cristallisation.

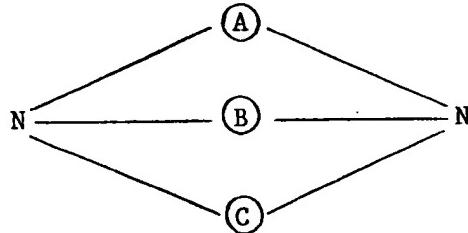
On peut également effectuer la réaction ci-dessus en utilisant une solution du composé macropolycyclique et le composé donneur de cation sous la forme cristalline. Un agent synergique protecteur de désactivation peut également être introduit dans la sphère de coordination du cation, comme cela est décrit dans J. Chem. Phys. 40, 2790 (1964) et 41, 157 (1964).

Dans la suite de la présente description on désigne également par "cryptates" les complexes macropolycycliques selon l'invention et par "cryptand" le composé macropolycyclique seul. On adoptera ci-après la nomenclature telle que définie par LEHN pour désigner les cryptates et les cryptands. A cet effet on peut se référer notamment aux articles de J.M. LEHN dans Struct. Bonding (Berlin) 16, 1 1973 et Acc. Chem. Res. 11. 49 (1978).

Tous les ions de terres rares conviennent aux fins de la présente invention. Toutefois, on préférera ceux qui présentent la fluorescence d'ion la plus intense, soit Terbium et Europium, et, à un degré moindre, Samarium et Dysprosium.

A titre de composés macropolycycliques qui conviennent aux fins de l'invention on peut utiliser les agents cryptands connus, par exemple :

1) les benzo-cryptands de formule générale :



dans laquelle (A), (B) et (C) représentent indépendamment les uns des autres les groupes 2_B, 2, 1 ayant les significations ci-après :

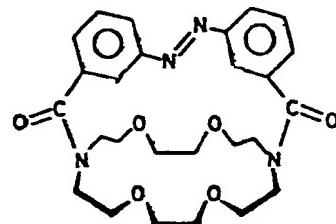
5

$$\begin{aligned} 2_B &= -C_2H_4 - X_1 - C_6H_4 - X_2 - C_2H_4 \text{ - ou} \\ &\quad -C_2H_4 - X_1 - CH_2 - C_6H_4 - CH_2 - X_2 - C_2H_4 \text{ -} \\ 2 &= -C_2H_4 - Y_1 - C_2H_4 - Y_2 - C_2H_4 \text{ -} \\ 1 &= -C_2H_4 - Z - C_2H_4 \text{ -} \end{aligned}$$

dans lesquels X_{1,2}, Y_{1,2} et Z représentent chacun un hétéroatome choisi parmi l'oxygène, le soufre et l'azote, X₁X₂ et Y₁Y₂ pouvant être identiques ou différents.

A titre d'exemples de tels cryptands, on peut citer 10 ceux dans lesquels les motifs (A), (B), (C) sont composés respectivement comme suit :

(A) (B) (C) = (2_B¹¹) ; (2_B²¹) ; (2_B²²) ; (2_B²B²) ; et le composé de formule :

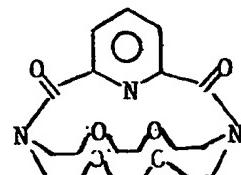


15 2) les agents cryptands comportant des hétérocycles azotés, tels que ceux décrits dans JACS 99 4583 (1977) de formule I dans laquelle :

20

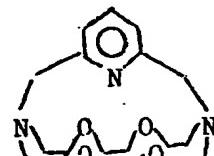
- (A) et (B), identiques, représentent la chaîne polyoxyéthylénée de formule -(CH₂)₂-O-(CH₂)₂-O-(CH₂)₂-
- (C) est une chaîne hydrocarbonée comportant un hétérocycle azoté comme motif donneur d'énergie. A titre d'exemples de tels composés, on peut citer notamment les composés ci-après :

- (22) pyridine amide

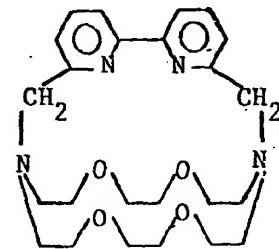


25

- (22) pyridine amine

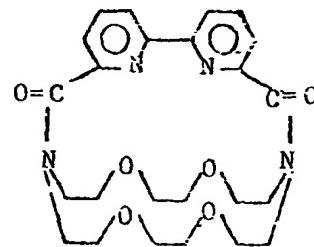


- (22) bipyridine



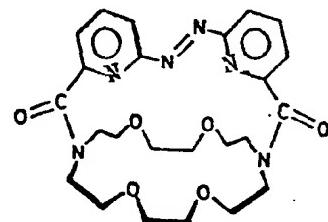
5

- (22) bipyridine amide

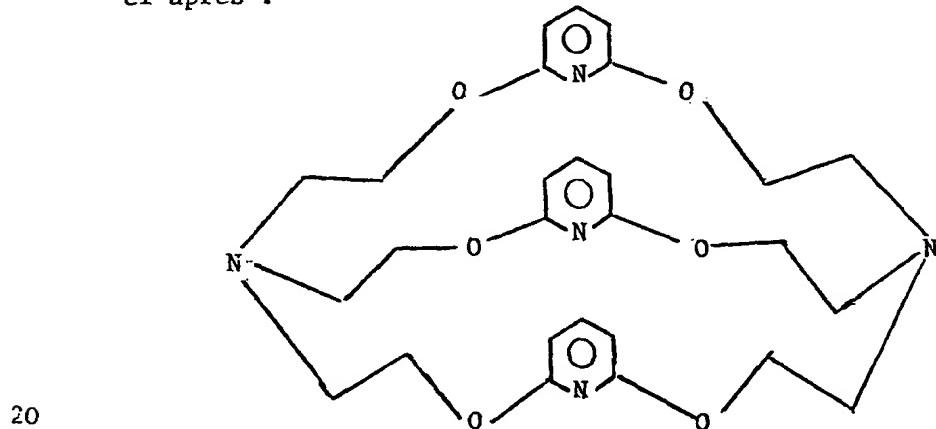


10

- (22) azopyridine



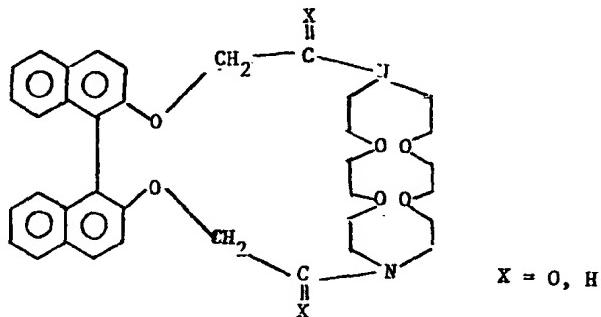
3) les agents cryptands, comportant plusieurs hétérocycles
azotés comme motifs donneurs, tels que le composé de formule
ci-après :



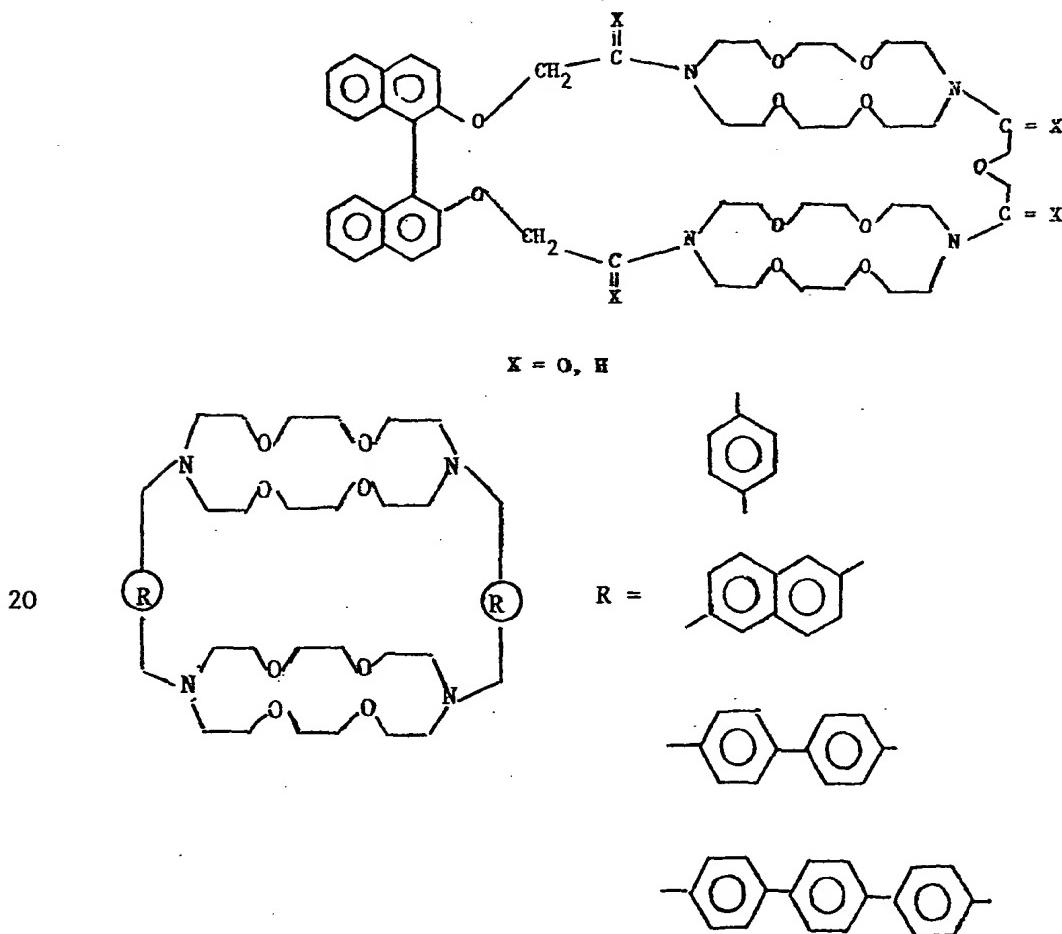
20

décrit dans J. Am. Chem. Soc. 1979, 101 p. 1047.

4) Les agents cryptands polycycliques contenant des motifs aromatiques, par exemple les composés répondant à la formule ci-après :



ou les composés de formule I dans lesquels la chaîne hydrocarbonée portant le ou les motifs donneurs est interrompue par un hétéro-macrocycle tels que les composés de formules ci-après :



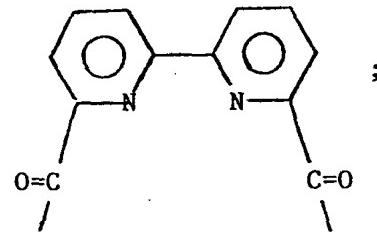
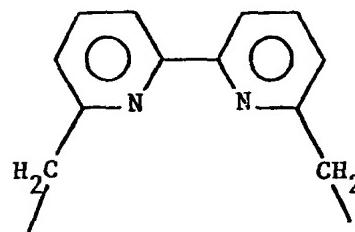
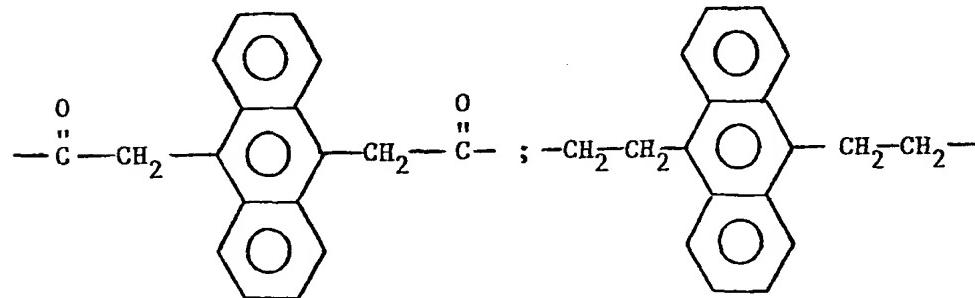
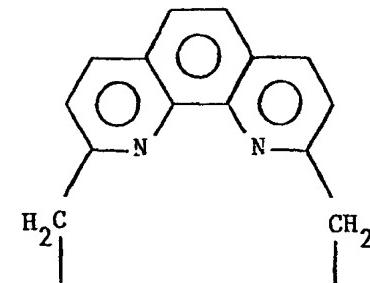
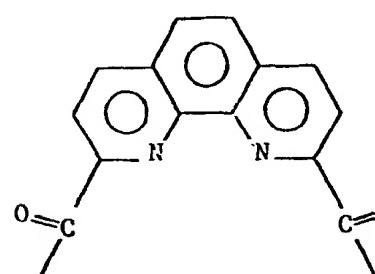
De tels composés sont décrits notamment dans :

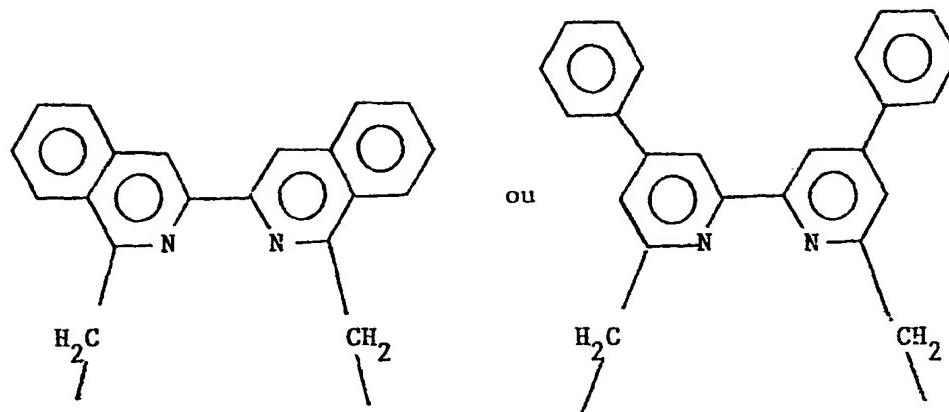
- Angew. Chemie 86 443 (1974)

On peut également utiliser comme agents cryptands les composés macropolycycliques de formule I ci-dessus dans laquelle le ou les motifs moléculaires possédant une énergie triplet supérieure à l'énergie de la terre rare à crypter sont choisis parmi la phénanthroline, l'anthracène, les bipyridines et les bi-quinoléines, éventuellement substitués en des positions appropriées et par des groupes susceptibles d'augmenter l'efficacité du transfert d'énergie ou de modifier le spectre d'excitation du cryptate de terre rare [J. Phys. Chem. 1964, vol. 68, p. 3324]. A titre d'exemple de tels groupes on citera notamment le groupe phényle.

Dans ces nouveaux composés macropolycycliques, au moins l'un des radicaux (A), (B) ou (C) répond de préférence à l'une des formules ci-après :

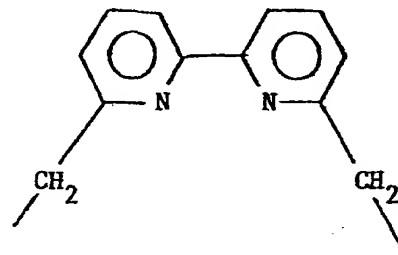
15



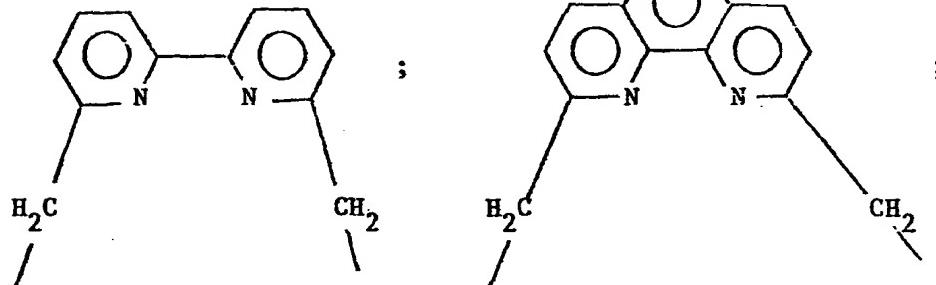


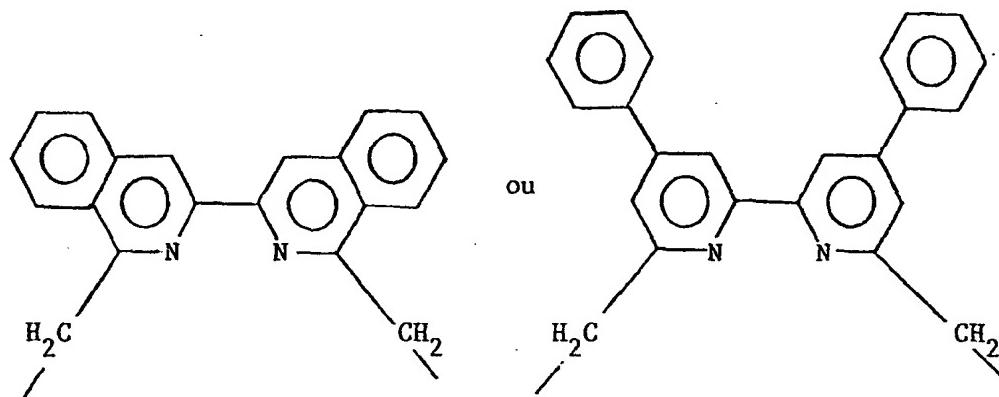
Une classe particulière de ces composés macropoly-
 5 cycliques est constituée par les composés de formule I, dans
 laquelle Z est l'azote, **(A)** et **(B)** sont deux chaînes mono- ou poly-
 oxyéthylénées, de préférence dioxyéthylénées et **(C)** répond à l'une
 des formules ci-dessus.

Parmi ces composés macropolycycliques nouveaux
 10 figurent également les composés de formule I dans laquelle **(A)** et **(B)**
 représentent chacun le groupe



et **(C)** est l'un des groupes suivants :



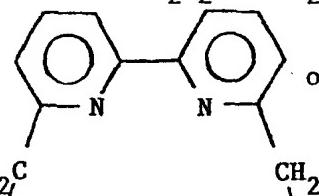


Une autre classe particulière de ces composés

5 macropolycycliques nouveaux est constituée par les composés de formule I, dans laquelle Z est l'azote et **(A)**, **(B)** et **(C)** sont identiques et représentent l'un des hétérocycles ci-dessus, notamment la 2,2'-bipyridine et la phénanthroline.

10 Les composés macropolycycliques de formule I, dans laquelle le ou les motifs moléculaires sont la phénanthroline, l'anthracène, les bipyridines ou les quinoléines sont des composés nouveaux à l'exception des composés de formule I dans laquelle **(A)** et **(B)** sont chacun une chaîne de formule $-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-$

15 et **(C)** est le groupe de formule : ou le groupe



de formule qui sont décrits dans Chem. Ber.

111, 200-204 (1978).

20 Les composés macropolycycliques de formule I peuvent être obtenus par des procédés chimiques connus, mettant principalement en oeuvre des réactions de condensation et/ou d'addition.

A titre d'exemples de tels procédés, on peut citer notamment les procédés décrits dans le brevet FR 70 21079 (2052947)

et les brevets US 3 888 877, 3 966 766 et 4 156 683. Ces procédés conviennent notamment pour l'obtention de composés de formule I dans laquelle Z est l'azote ou le phosphore.

5 Pour l'obtention de composés de formule I dans laquelle Z est le carbone et R est tel que défini précédemment, on utilisera des procédés de condensation par analogie.

Dans tous les cas il suffit d'utiliser comme produits de départ des composés chimiques comportant chacun un des radicaux (A), (B) ou (C) et des groupes terminaux capables d'être 10 substitués ou comportant des radicaux facilement éliminables.

A titre d'exemple on indiquera que le composé de formule I dans laquelle Z est le carbone, R est le groupe hydroxy et (A), (B) et (C) représentent chacun la 2,2'-bipyridine peut être obtenu par condensation de la 6,6'-dilithiobipyridine avec la 15 6,6'-dicyano-2,2'-bipyridine, hydrolyse du groupe cyano du macrocycle ainsi obtenu et condensation du produit résultant avec la 6,6'-dilithiobipyridine.

Selon un mode opératoire préféré les nouveaux 20 composés macropolycycliques de formule I, dans laquelle Z est l'azote, (A) et (B) sont des chaînes polyoxyéthylénées, peuvent être obtenus par réaction :

- du macrocycle azoté constitué par les deux chaînes polyoxyéthylénées avec
- la chaîne hydrocarbonée comportant ledit motif moléculaire, 25 ladite chaîne ayant des groupes terminaux clivables, tels que par exemple des groupes halogéno.

Cette réaction de couplage est avantageusement réalisée dans un solvant anhydre, par exemple le diméthylsulfoxyde (DMSO), l'acetonitrile, éventuellement en présence d'un agent réducteur, tel que l'hydrure de sodium ou le carbonate de sodium. 30 On obtient alors le composé macropolycyclique sous la forme d'un sel de sodium.

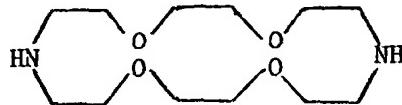
On opère de préférence à une température inférieure au point d'ébullition du solvant, par exemple entre 60 35 et 100°C.

Pour obtenir le composé macropolycyclique libre, on peut faire réagir le sel de sodium ainsi obtenu avec du nitrate d'argent pour former le complexe macropolycyclique d'argent correspondant, qui est ensuite traité avec un courant de H_2S . Le 5 précipité formé est ensuite neutralisé avec une solution de $N(CH_3)_4OH$ et extrait avec du chlorure de méthylène.

On notera que le complexe macropolycyclique de terre rare selon l'invention peut être obtenu à partir du complexe libre ou d'un sel de celui-ci, par exemple le sel de sodium.

10 Dans le procédé ci-dessus on peut utiliser avantageusement comme macrocycle l'un quelconque des composés macrocycles monocycliques azotés décrits dans le brevet US 3 966 766, les composés préférés étant : le 1,7,10,16-tétraoxa-4,13-diazacyclooctadécane de formule générale :

15



ou le 1,7,16-trioxa-4,13-diazacyclodécane de formule générale :



20

On notera que les complexes préférés selon l'invention, obtenus à partir des macrocycles ci-dessus, peuvent être considérés comme des dérivés de cryptates de type 222 ou 221, dans lesquels les motifs éther sur au moins l'une des chaînes hydrocarbonées ont été substitués par des motifs donneurs d'énergie (en général aromatiques ou polyaromatiques pouvant contenir des hétéroatomes).

25

Les cryptates d'europium de types 222 ou 221 possèdent des vitesses de dissociation très faibles en solutions aqueuses, bien que leur constante de formation soit relativement basse ($K = 10^{6,8}$ et

10^{5,9} respectivement pour les cryptates 221 et 222 - Inorganic Chem. 1981, 20 p. 616 et J.A.C.S. 1980 102 p. 22 78). De tels cryptates ne répondent pas aux critères de stabilité définis dans l'art antérieur. Par contre, la substitution des motifs éther par 5 des motifs donneurs d'énergie, qui fournit les complexes préférés selon l'invention, ne modifie pas la caractéristique de dissociation de ces cryptates, mais permet par l'excitation du motif donneur d'énergie dans sa bande d'absorption d'obtenir une fluorescence fortement exaltée et caractéristique de la terre rare cryptée.

10 Lorsque les cryptates de terres rares, objet de la présente invention, sont utilisés pour marquer spécifiquement des molécules biologiquement actives à l'aide d'une liaison covalente, ils peuvent être substitués sur l'un ou plusieurs de leurs atomes constitutifs par un ou plusieurs substituants suffisamment 15 accessibles et possédant un ou plusieurs motifs moléculaires permettant le couplage covalent avec la molécule biologique dans des conditions opératoires compatibles avec son intégrité biologique.

20 Parmi ces motifs moléculaires on peut citer, à titre d'exemples non limitatifs, les radicaux alkylamino, arylamino, isothiocyanato, cyano, isocyanato, thiocyanato, carboxyle, hydroxyle, mercapto, phénol, imidazole, aldéhyde, époxyde, halogénure : de thionyle, de sulfonyle, de nitrobenzoyle, de carbonyle ; triazo, succinimido, anhydride, halogénoacétate, hydrazino, dihalogéno-triazinyle etc. (Biol. Chem. 245, 3059 (1970)). La longueur du bras 25 liant le complexe macrocyclique à la molécule d'intérêt biologique peut varier par exemple de 1 à 20 atomes et contenir des atomes de carbone mais aussi des hétéroatomes tels que N, O, S, P. L'invention concerne donc également les complexes biologiques constitués d'une molécule biologique associée par couplage ou adsorption à un 30 complexe macropolycyclique selon l'invention.

Pour réaliser le couplage on peut utiliser tous les réactifs décrits à cet effet dans la littérature et séparer la molécule marquée du complexe macropolycyclique n'ayant pas réagi par tout moyen de séparation adapté (filtration sur gel par exemple).

35 Parmi les molécules d'intérêt biologique présentant un intérêt pour le marquage avec l'objet de la présente invention

on pourra citer de façon non limitative les antigènes, les anticorps, les anticorps monoclonaux, les fragments et combinaisons Anticorps-fragments, les drogues, les récepteurs, les hormones, les récepteurs hormonaux, les bactéries, les stéroïdes, les amino-acides, les peptides, les vitamines, les virus, les nucléotides ou poly-nucléotides dans les méthodes d'hybridation, les enzymes et leurs substrats, les lectines, les acides nucléiques, l'ADN et l'ARN.

Les complexes macropolycycliques de terres rares selon la présente invention trouvent une application importante à titre de marqueurs fluorescents dans les dosages immunologiques, aussi bien dans les méthodes de dosage dites par compétition ou par excès, en phase homogène ou hétérogène, décrits dans l'art antérieur (LANDON, Ann. Clin. Biochem. 1981, 18, p. 253 et SOINI Clin. Chem. 25, 353, 1979).

Dans les méthodes hétérogènes on peut utiliser avantageusement :

- des tubes revêtus d'anticorps spécifiques de la substance à doser et réaliser la lecture de la fluorescence par les méthodes décrites plus haut, directement au travers du tube (Clin. Chem. 29, 60, 1983),
- ou une phase solide autre, en particulier une bandelette ou un film gélatineux sur lequel on a déposé préalablement un milieu contenant un anticorps spécifique, la lecture de la fluorescence étant réalisée à un angle différent de l'excitation et de la réflexion de l'onde excitatrice ou directement au travers du support, si celui-ci est transparent.

Il est également possible en raison du spectre de raie de ces marqueurs de détecter simultanément plusieurs antigènes soit en utilisant des cryptates de différentes terres rares dont les raies de fluorescence ne se recouvrent pas (par exemple Tb et Eu), soit en utilisant des marqueurs fluorescents classiques (fluorescéine ou rhodamine) et des marqueurs selon la présente invention.

Une autre application concerne l'immunochimie où la fluorescence de la cellule marquée est détectée par microscopie comme décrit par R.C. NAIRN dans "Fluorescent Protein Tracing

0180492

22

Longman Group Ltd" 1976, avec également la possibilité de faire de la multidétection.

Une autre application des complexes de terres rares selon l'invention concerne la cytologie et les trieurs de cellules où l'utilisation d'un marqueur présentant un spectre de raie à longueur d'onde élevée couplée à celle de marqueurs classiques permet de réaliser des analyses multiparamétriques.

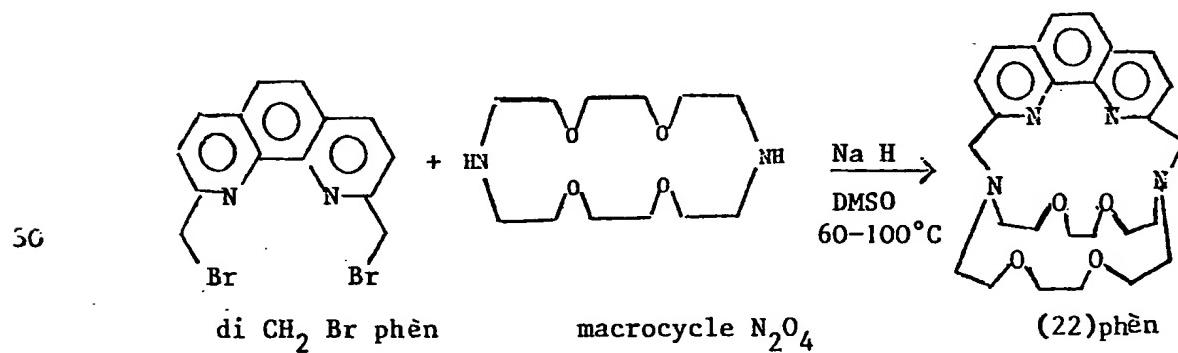
De plus, avec un agent cryptant donné et des ions de terres rares différentes il est possible avec une seule longueur d'onde d'excitation qui est celle du motif moléculaire qui transfère l'énergie et qui peut être générée avec une seule source (Laser par exemple) d'obtenir deux spectres de fluorescence de raies caractéristiques des deux ions cryptés (par exemple Tb et Eu) et révélant ainsi les molécules biologiques respectives sur les-
quelles les cryptates sont fixés.

Une autre application concerne l'utilisation des cryptates de terres rares selon la présente invention dans le domaine du génie génétique par exemple à titre d'indicateur dans les réactions d'hybridation, telles que celles décrites dans les demandes de brevets EP-A-0 070 685 et 0 070 687.

L'invention va être maintenant décrite plus en détail par les exemples illustratifs non limitatifs ci-après.

Exemple 1

A- Préparation du (22)phénanthroline (dénommé ci-après : (22)phèn)



Le solvant utilisé dans cette synthèse est le DMSO qui a été séché plusieurs jours sur tamis moléculaire 4 Å, et éventuellement distillé sous vide.

5 1 mmol (366 mg) de composé dibromométhylphénanthroline (di $\text{CH}_2\text{Br Phén}$) sec et fraîchement chromatographié a été dissous dans 10 à 20 ml de DMSO. Il a été transféré dans une ampoule à addition sèche ; le volume a été complété à 100 ml avec du DMSO sec.

On a placé 100 à 200 mg de NaH dans de l'huile (FLUKA) dans un ballon sec ; on a ajouté 5 ml de toluène sec (ou hexane) au mélange et on a laissé décanter. La solution a été évaporée sous vide (1 Torr) pendant 1 h. On a redissous NaH dans 20 ml de DMSO sec (déagement H_2). On peut éventuellement chauffer à 50°C.

10 15 On a séché 1 mmol du macrocycle N_2O_4 (262 mg) et on a ajouté 10 à 20 ml de DMSO sec.

Les solutions de NaH et N_2O_4 macrocycle ont été chacune introduites dans une ampoule à addition et le volume a été complété à 100 ml par du DMSO sec.

20 Dans un ballon tricol on a placé 100 ml de DMSO sec. On a équipé ce ballon avec les deux ampoules à addition, un réfrigérant à reflux et un système désséchant (Silicagel). Le ballon a été chauffé à 60-100°C avec une agitation magnétique.

Pendant 1 à 2 h on a ajouté goutte à goutte et simultanément le contenu des deux ampoules.

25 Le mélange réactionnel a été chauffé 1 h après l'addition des réactifs. Le mélange a ensuite été distillé sous vide pour éliminer le solvant.

Il est possible d'ajouter une petite quantité d'eau pour éliminer les hydrures et les bases.

30 35 Le mélange réactionnel a été amené à sec ; on a obtenu un résidu rouge sec ou pâteux.

On a ajouté 100 à 200 ml de CH_2Cl_2 ; la pâte a été triturée à température ambiante pendant au moins 30 min. Le résidu a été filtré et lavé. La phase liquide organique a été conservée et évaporée sous vide. Le résidu obtenu a été séché sous vide (1 Torr, au moins 30 min).

On a ajouté 100 ml d'éther éthylique au résidu, on

a mélangé, on a laissé décanter ; cette opération a été répétée 3 à 4 fois.

Pour éliminer de façon plus complète le reste du monocycle N_2O_4 on a ajouté au résidu 50 ml d'hexane et 1 ml de CH_3OH ; la solution a été évaporée sous vide (chauffage léger) jusqu'à l'apparition d'un trouble ; la solution a été décantée et on a répété l'opération plusieurs fois.

Le résidu rouge a été testé par chromatographie sur plaque (Polygram Alox N/UV₂₅₄ de Macherey-Nagel), la migration en milieu CH_2Cl_2/CH_3OH 9/1 a donné les valeurs suivantes :

(22) Phèn Rf = 0,4 - 0,8

Monocycle N_2O_4 Rf = 0,2 - 0,5

Le résidu a été chromatographié sur colonne (20 cm Ø 15 cm) garnie d'oxyde d'aluminium 90 activé Neutre, 70-230 mesh (Merck), l'éluant étant constitué des mélanges :

$CH_2Cl_2:CH_3OH$ (5 %), $CHCl_3/C_2H_5OH$ (5 %), CH_3OH /hexane 9 : 1

Rendements de 12 à 35 % suivant les conditions opératoires.

On a ainsi obtenu le sel de sodium du (22)phèn de formule $[Na^+C(22\text{ phèn})Br; H_2O]$ dont l'analyse élémentaire était la suivante :

trouvé : C 53,00 H 6,21 N 9,44

calculé: C 53,16 H 6,18 N 9,55

B - Formation du complexe $[Eu^{3+}C(22)\text{phèn}]$

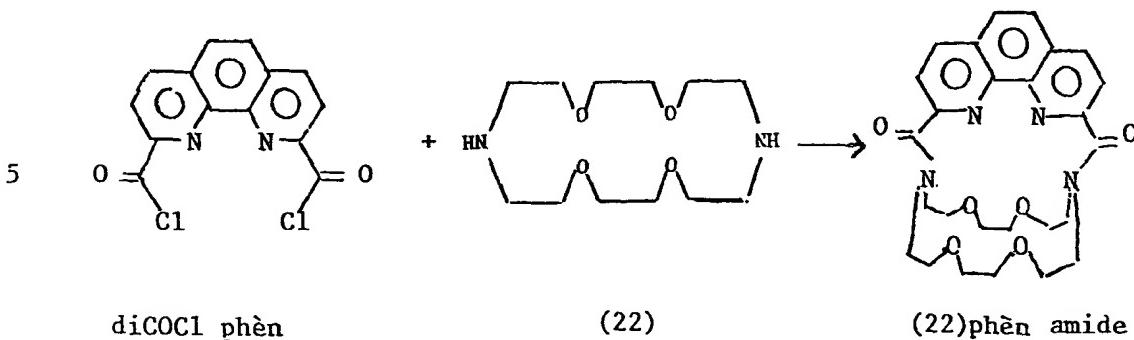
0,07 mol (19,4 mg) de $EuCl_3$ anhydre ont été mis en solution dans 4 ml de CH_3CN sec et on a chauffé à reflux pendant 1 h 30. On a ajouté 35 mg du sel de sodium du (22)phèn obtenu précédemment dans 2,5 ml CH_3CN . On a chauffé à reflux pendant 2 h 30. Après avoir laissé le mélange reposer une nuit à 4°C on a filtré le précipité jaune.

Le précipité recueilli (11 mg) présente une forte fluorescence de même quand il est en solution dans H_2O et CH_3OH (UV 254 nm).

On n'a pas noté de modification des spectres d'excitation et d'émission après trois mois en solution aqueuse à une concentration inférieure à 10^{-4} mol/l.

Exemple 2

A - Préparation du (22)phénanthroline amide (dénommé ci-après (22)phèn amide)



Le solvant utilisé dans cette synthèse est l'acétonitrile distillé sur P_2O_5 . On a opéré dans un appareillage en verre anhydre.

305 mg de di COCl phèn (1 mmol) recristallisé et sec ont été dissous dans 50 ml de CH_3CN ; après une nuit, la solution a été filtrée et transférée dans une ampoule à addition; le volume a été complété à 90 ml par CH_3CN .

524 mg de (22) (2 mmol) ont été séchés sous vide (< 1 Torr ; pendant une nuit). Le produit a été dissous dans 90 ml de CH₃CN et transféré dans une ampoule à addition.

Les deux ampoules ont été montées sur un ballon de
 20 2 à 3 l contenant 1 litre de CH_3CN . L'addition simultanée des deux réactifs s'est effectuée en 2 h à 2 h 30 sous agitation rapide (magnétique). L'agitation a été poursuivie 30 min après l'addition. Le solvant a été éliminé sous vide à 50°C. Le résidu a été séché 1 h au moins à $P < 1$ Torr. Le résidu a été brassé 30 min dans 300 ml de CH_2Cl_2 et filtré. Le filtrat a été évaporé à sec. Il a été chromatographié sur Alox activé 90 neutre (colonne 30 cm Ø 1,5 cm),
 25 l'éluant étant CH_2Cl_2 contenant 1 % CH_3OH . On a récupéré le premier produit élué.

On a récupéré 310 mg de (22)phén amide avec un
rendement de 63 %. Le produit a été recristallisé dans le mélange
toluène/hexane 1 : 1.

T.fusion : 300 - 302°C

I R bande amide à 1630 cm⁻¹

Spectre de masse M⁺ à 494 pour PM = 494,55

Analyse élémentaire : C₂₆H₃₀N₄O₆ C H N

5	Calculé	63,15	6,11	11,33
	Trouvé	(59,8	5,7	10,5

(59,9 5,9 10,6

B - Formation du complexe [Eu³⁺C(22)phèn amide]

45 mg (0,17 mmol) de EuCl₃ anhydre ont été dissous
 10 dans 10 ml CH₃CN sec. On a chauffé à reflux pendant 3 h 80 mg
 (0,16 mmol) de (22)phèn amide dissous dans 2 ml de CH₂Cl₂ ; on a
 ajouté 50 ml CH₃CN ; on a chauffé à ébullition du CH₃CN (CH₂Cl₂
 est éliminé par évaporation). On a alors ajouté la solution de Eu³⁺.

On a chauffé à reflux pendant 2 h puis on a laissé
 15 reposer à température ambiante. Le précipité blanc a été récupéré par filtration (50 mg). Il présentait une forte fluorescence
 rouge (λ excitation : 254 nm) ainsi qu'en solution dans H₂O,
 CH₃OH et DMSO.

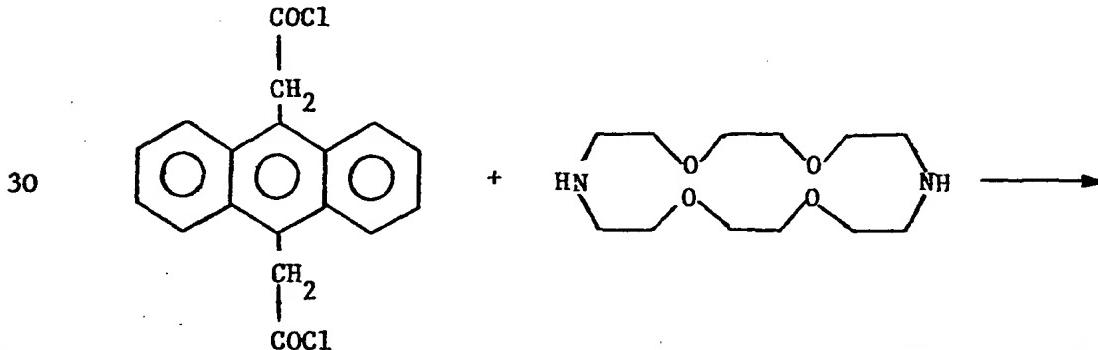
Analyse élémentaire pour Eu C (22)phèn amide (OH) Cl₂ · 2H₂O

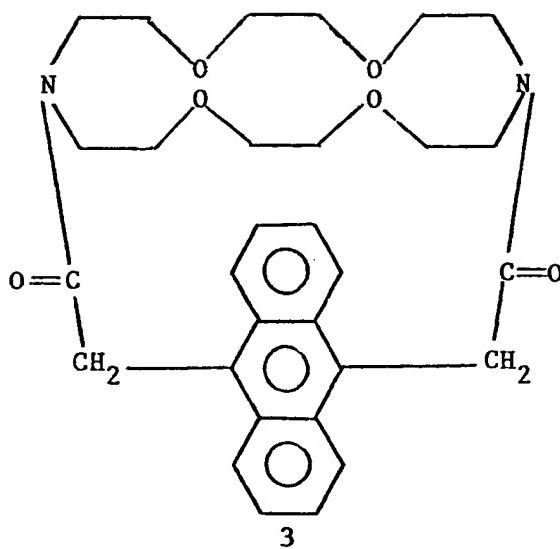
20	C ₂₆ H ₃₇ N ₄ O ₁₀ Cl ₂ Eu	PM = 788,47	C	H	N
		Calculé	39,61	4,73	7,11
		Trouvé	(40,1	4,9	7,2

(40,3 4,8 7,1

On n'a pas noté de modifications des spectres d'excitation et d'émission de ce complexe après trois mois en solution aqueuse à une concentration inférieure à 10⁻⁴ mol/l.

Exemple 3 - Préparation du (22)anthracène amide





Dans cet exemple, on fait appel à la méthode de haute dilution.

- 0,564 g du dichlorure d'acide 1 (1,7 mmol) ont été dissous dans
 10 70 ml de CH_2Cl_2 anhydre et introduits dans une ampoule à addition
 de 100 ml,

- 0,446 g du macrocycle (22), soit 1,7 mmol, et 0,47 ml de triéthyl-
 amine ($2 \times 1,7$ mmol) ont été également dissous dans 70 ml de
 CH_2Cl_2 anhydre et introduits dans une ampoule à addition de 100 ml.

15 Dans un tricol de 3 l, on a introduit 0,4 ml de toluène et 0,15 l de chlorure de méthylène anhydre. L'introduction simultanée dans le tricol des deux réactifs préparés ci-dessus dans les ampoules à addition s'est effectué en 5 h (14 ml/h).

On a recueilli la phase organique, que l'on a concentrée jusqu'à quelques millilitres, puis passée sur une colonne de SiO_2 sous pression (diamètre de la colonne 3,5 cm ; hauteur = 17 cm ; éluant CH_2Cl_2 - 1 % méthanol).

On a obtenu un produit fluorescent jaune pâle cristallisé.

25 Rendement : 45 %

Chromatographie en couche mince (CCM)

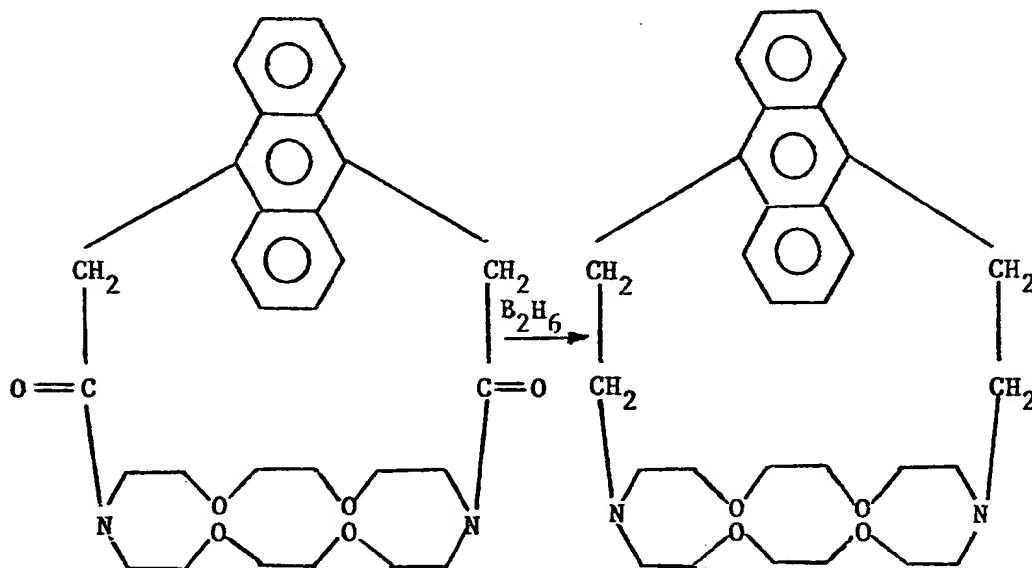
solvant CH_2Cl_2 / 2 % méthanol ; SiO_2 ; $R_f = 0,6$

RMN ^1H : solvant $\text{CDCl}_3/\text{CD}_2\text{Cl}_2$, 5/5 à 200 MHz

	ppm	2,53 (m)	}	24 H, HCH ₂ + OCH ₂ couronne
		2,93 (m)		
		3,18 (m)		
		3,42 (m)		
5		4,02 (d)		
		$\delta_A = 4,62$		$J_{AB} = 16 \text{ Hz}$ 4H OCCH ₂ N
		$\delta_B = 5,03$		
		7,6 (m)	4H	aromatique
10		8,43 (d)	2H	
		8,82 (d)	2H	
	microanalyse : C₃₀H₃₆O₆N₂			
	Calculé	C 69,20	H 6,97	N 5,38
	Trouvé	C 69,07	H 7,00	N 5,22
	Poids moléculaire	520,55		

15 Le dichlorure d'acide 1 utilisé comme produit de départ dans cet exemple peut être obtenu par les procédés décrits par M.W. Miller et al. dans R.W. Amidon, P.O. TAWNEY J.A.C.S. 77 2845 (1955) ou par B.M. MIKHAILOV Izvest. Akad. Nank. SS. Osdel Khim. Nank. 1948, 420-6 ; CA 42, 6350.

20 Exemple 4 - Préparation du (22)anthracène



380 mg du diamide 3 (0,73 mmol) ont été partiellement dissous dans 20 ml de THF anhydre contenus dans un ballon.

On a mis le ballon avec un reflux sous atmosphère d'argon et on a ajouté à température ambiante 8 ml de B_2H_6 1,1 M dans du THF anhydre.

On a maintenu le tout sous reflux pendant une nuit puis on a détruit à 0°C l'excès de diborane par quelques gouttes d'eau distillée.

On a évaporé les solvants et on a ajouté au solide blanc résiduel 40 ml d'une solution 6 N d'HCl.

On a chauffé à reflux pendant 30 h sous atmosphère d'argon, la solution est devenue vert foncé.

On a laissé refroidir, puis on a évaporé l'eau et on a essoré le solide résultant à la pompe à palette pendant 1 h, puis on l'a dissous dans 50 ml d'eau distillée ; on a ajouté 50 ml de CH_2Cl_2 et on a agité les deux phases, puis on a séparé la phase aqueuse que l'on a basifiée à 0°C par une solution aqueuse de LiOH jusqu'à pH 13 ; un solide a précipité. On a ajouté encore 50 ml de CH_2Cl_2 , on a agité les deux phases et on a laissé décanter. On a récupéré la phase organique que l'on a séchée sur $MgSO_4$.

On a passé le brut sur une colonne d'alumine et on a élué avec CH_2Cl_2 1 % méthanol. On a récupéré un produit cristallin pur sur plaque de chromatographie couche mince.

Rendement : 62 - 70 %

CCM : Al_2O_3 ; éluant CH_2Cl_2 6 % MeOH

Rf : 0,33

Point de fusion : > 260°C

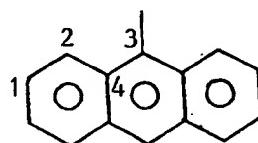
RMN ^{13}C : solvant $CDCl_3$

ppm 25,2 (CH_2 aromatique)

30 54,3) NCH₂ macrocycle + branche
56,3)

69,3) OCH₂ macrocycle
70,0)

123,9 (1)
125,5 (2)
129,9 (3)
131,9 (4)



RMN ^1H : solvant CDCl_3

ppm 2,39 (t) 8H NCH_2 macrocycle

2,55 et 2,76 (m)-2 x 4H OCH_2

2,89 et 3,19 (m)-2 x 4H OCH_2

5 3,03 et 3,82 (t) - 2 x 4H - $\text{CH}_2 - \text{CH}_2$

7,47 et 8,31 (AB) - 4H) H aromatiques
7,50 et 8,36 (AB) - 4H)

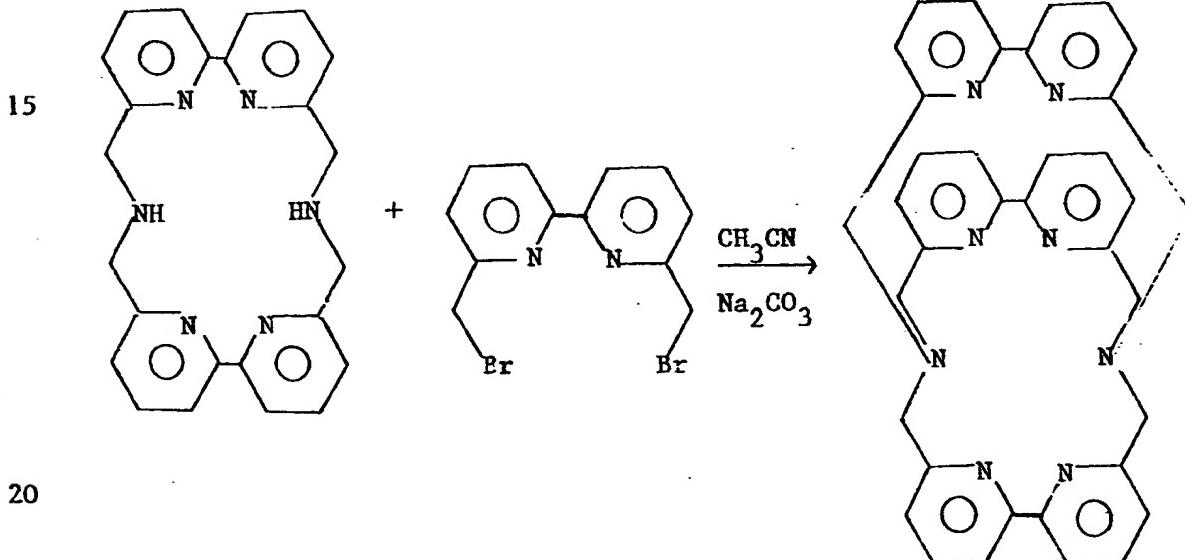
microanalyse : $\text{C}_{30}\text{H}_{40}\text{O}_4\text{N}_2$ (poids moléculaire 492,6)

Calculé : C 73,13 H 8,18 N 5,6

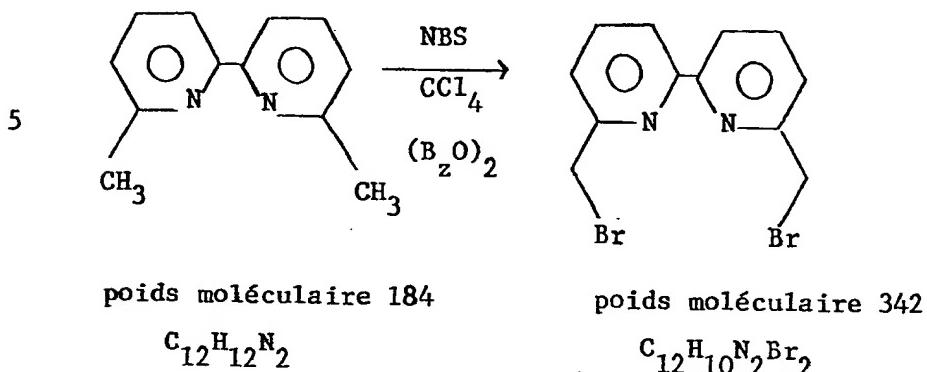
10 Trouvé : C 73,06 H 8,04 N 5,2

En opérant selon le mode opératoire décrit à l'exemple 1 on a préparé le complexe $[\text{Eu}^{3+} \text{C}(22)\text{anthracène}]$.

Exemple 5 - Préparation du composé macropolycyclique de formule (7) et du complexe d'europium correspondant



A - Préparation du 6,6'-bis-bromométhyl-2,2'-bipyridine



10 Un mélange de 6,6'-diméthyl-2,2'-bipyridine (2,76 g, 15 mmol) et de N-bromosuccinimide (5,10 g, 28,6 mmol) dans CCl_4 (150 ml) est porté au reflux pendant 30 min. Puis on a alors ajouté au mélange du peroxyde de benzoyle (30 mg) et le mélange a été à nouveau porté à reflux pendant 2 h, puis le succinimide a été 15 filtré. La solution a été refroidie jusqu'à 0°C et le solide filtré et lavé avec du méthanol pour donner du bis-dibromure sous la forme d'un solide blanc cristallin (1,65 g).

Rendement 32 % ; point de fusion 180-181°C.

La solution de CCl_4 a été concentrée et chromatographiée sur colonne (gel de silice) par élution avec un mélange dichlorométhane/méthanol 98 : 1 pour donner :

- 6,6'-bis-dibromométhyl-2,2'-bipyridine 0,9 g 12 %
 - 6,6'-bis-bromométhyl-2,2'-bipyridine 1,38 g 27 %
 - 6-méthyl-6'-bromométhyl-2,2'-bipyridine 0,55 g 14 %

25 B - Préparation du composé macropolycyclique

Un mélange du macrocycle bis-bipyridine de formule (5) (0,15 g, 0,38 mmol) (décrit dans J. Org. Chem. 1983, 48, 4848), et de Na_2CO_3 (0,4 g) dans l'acétonitrile (200 ml) a été chauffé au reflux et ensuite une solution de 6,6'-bis-bromométhyl-2,2'-bipyridine (0,12 g, 0,38 mmol) a été ajoutée pendant une période de 3 h. Ensuite, le mélange a été porté au reflux pendant 20 h. Le Na_2CO_3 a été filtré et le filtrat évaporé. Le résidu a été

98 : 2 pour obtenir le sel de sodium du macrobicycle tris-bipyridine sous la forme d'un solide blanc (0,16 g ; 73 % ; point de fusion supérieur à 270°C).

microanalyse : C₃₆H₃₀N₈, Na Br (677,6)

5 Calculé : C 63,81 H 4,46 N 16,53

Trouvé : C 63,79 H 4,48 N 16,49

RMN ¹H : solvant CDCl₃

3,85 (s, 6CH₂) ;

7,33 (dd, J=7,2 ; 1,2 ; 6H ; H-C(5) ; H-C(5'))

10 7,82 (t, J=7,2 ; 6H ; H-C(4) ; H-C(4'))

7,90 (dd, J=7,2 ; 1,2 ; 6H ; H-C(3) ; H-C(3'))

Un mélange de nitrate d'argent AgNO₃ (15 mg, 0,08 mmol) et du sel de sodium obtenu ci-dessus (20 mg, 0,03 mmol) a été chauffé avec 5 ml de CH₃OH pendant 30 min. Le méthanol a été évaporé et le complexe résultant a été purifié par passage sur une colonne de gel de silice avec CH₂Cl₂/CH₃OH comme éluant (96:4).

Le complexe d'argent ainsi obtenu (20 mg) a été dissous dans un mélange eau/méthanol (1:1 - 5 ml) et traité avec un courant de H₂S pendant 15 min. Le précipité formé a été centrifugé et la solution a été neutralisée avec N(CH₃)₄OH 0,1N et extraite avec du chlorure de méthylène (3,5 ml). La solution a été séchée sur MgSO₄ et évaporée ; le solide résultant a été filtré sur gel de silice CH₂Cl₂ : CH₃OH (96:4) pour donner le complexe libre (13 mg ; 86 %) ayant les caractéristiques suivantes :

25 RMN ¹H : solvant CDCl₃

3,82 (s, 12H, CH₂)

7,44 }
7,78 } système ABX J=8 , 7,5 et 0,9Hz)
7,83 }

30 microanalyse : C₃₆H₃₀N₈ (574,7)

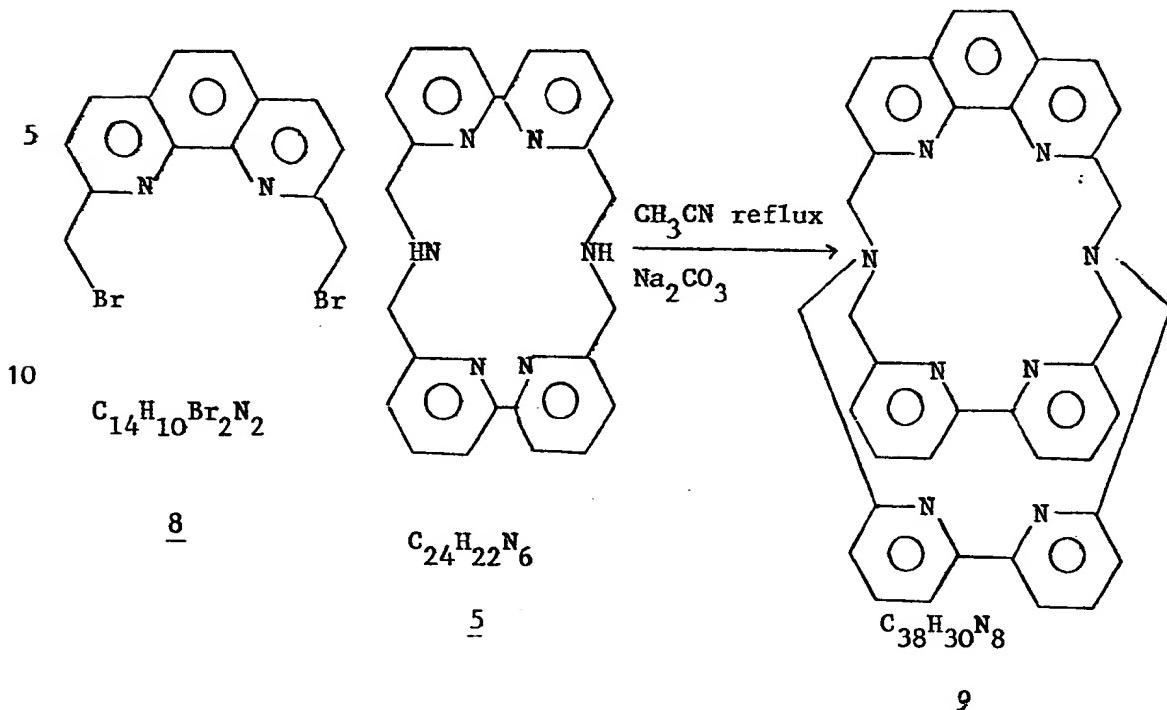
Calculé : C 75,24 H 5,26 N 19,50

Trouvé : C 75,37 H 4,98 N 19,41

A partir du composé macropolycyclique obtenu, on a préparé le complexe [Eu³⁺C (macropolycycle tris-bipyridine)] en opérant selon le mode opératoire décrit à l'exemple 1.

Les longueurs d'ondes d'excitation et d'émission caractéristiques de ce complexe figurent dans le tableau ci-après.

Exemple 6 - Préparation du composé macropolycyclique bis-bipyridine-phénanthroline de formule (9) et du complexe d'europium correspondant



15 Dans un ballon bicol de 500 ml, on a pesé 0,158 mmol du macrocycle bis-pyridine (5). On a ajouté 0,75 mmol de Na_2CO_3 (excès 5 fois environ) et 105 ml de CH_3CN fraîchement distillé. On a chauffé à reflux et sous agitation magnétique pendant 30 min.

20 On a ajouté alors goutte à goutte la solution de dibromophénanthroline équimoléculaire dans 100 ml d'acétonitrile.

L'addition assez lente (2 h 10 min) a eu lieu tout en maintenant le reflux et l'agitation magnétique.

25 On a chauffé alors encore 18 h sous les mêmes conditions. La solution obtenue a été évaporée à sec. Le produit brut en solution dans CH_2Cl_2 a été lavé à l'eau.

(chromatographie couche mince sur alumine : éluant : $CH_2Cl_2/MeOH$: 90/10).

Ce produit brut a été purifié sur colonne d'alumine standardisée (Activité II-III). L'éluant est $CH_2Cl_2/MeOH$: 98/2.

microanalyse : C₃₈ H₃₀ N₈, NaBr, H₂O (719,6)

Calculé : C 63,42 H 4,45 N 15,57

Trouvé : C 62,77 H 4,46 N 15,31

RMN ¹H : solvant CDCl₃

- 5 3,91 (s, 8H, CH₂-bpy)
- 4,07 (s, 4H, CH₂-phèn)
- 7,36 (dd, J=7,2 ; 1,3 ; 4H ; H-C(5) ; H-C(5') de la bipyridine)
- 7,64 (d, J=8,2 ; 2H ; H-C(3) ; H-C(8) de la phénanthroline)
- 10 7,78 (s, 2H, H-C(5) ; H-C(6) de la phénanthroline)
- 7,83 (t, J=7,2 ; 4H ; H-C(4) ; H-C(4') de la bipyridine)
- 7,91 (dd, J=7,2 ; 1,3 ; 4H ; H-C(3) ; H-C(3') de la bipyridine)
- 8,27 (d, J=8,2 ; 2H ; H-C(4) ; H-C(7) de la phénanthroline)

15 A partir du composé macropolycyclique ainsi obtenu on a préparé le complexe [Eu³⁺C(macropolycycle bis-bipyridine-phénanthroline)] en opérant selon le mode opératoire décrit à l'exemple 1.

20 Les longueurs d'ondes d'excitation et d'émission caractéristiques de ce complexe figurent dans le tableau ci-après.

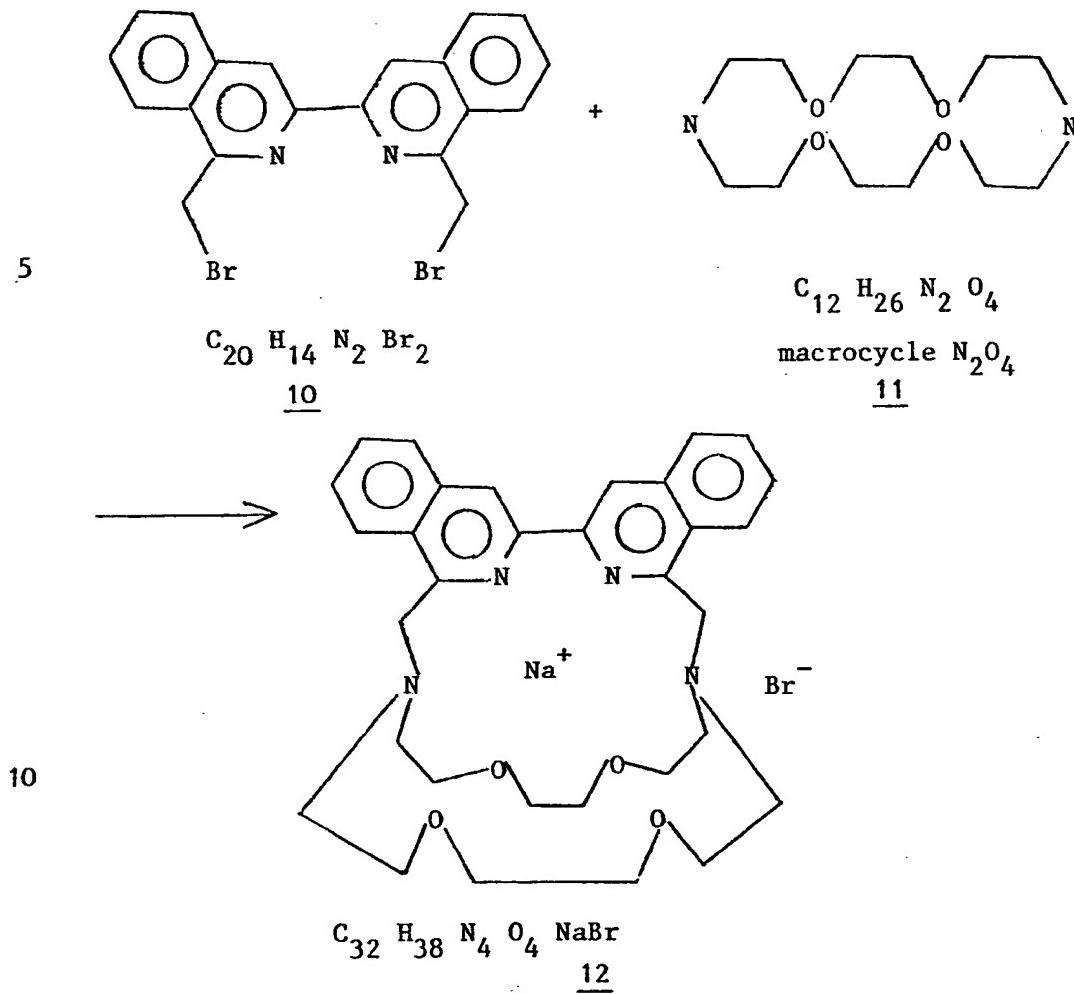
Exemple 7

25 En opérant selon le mode opératoire de l'exemple 1 avec les composés macropolycycliques (22) pyridine amide et (222_B) on a obtenu respectivement les complexes macropolycycliques ci-après :

[Eu³⁺ C(22) pyridine amide]

[Tb³⁺ C(222_B)]

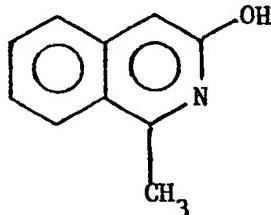
Exemple 8 - Préparation du composé macropolycyclique (22) bis-isoquinoléine de formule (12) et du complexe d'euroeuropium correspondant.



a) Préparation du 1,1'-bis(bromométhyl)-3,3'-biisoquinoléine de formule 10

15 Ce composé a été fabriqué à partir du 1-méthyl-3-

hydroxyisoquinoléine de formule



Le 1-méthyl-3-hydroxyisoquinoléine a été préparé
20 par cyclisation du N-(±)-phénylethyl-diéthoxyacétamide. 72 g de ce
composé de départ, préparé selon le mode opératoire décrit par

H. FUKUMI et al dans "HETEROCYCLES" 9(9) 1197 (1978) et purifié par distillation sous pression réduite (140°C - 0,1 mm Hg), ont été versés, goutte à goutte et sous agitation, pendant une heure dans 400 ml de H_2SO_4 concentré refroidi à 10°C . Le mélange réactionnel a été refroidi au cours de l'addition pour que la température de celui-ci n'excède pas 10°C . Le mélange réactionnel a été ensuite agité pendant 10 h à la température ambiante et versé ensuite dans 600 g de glace. Après filtration, la solution claire a été neutralisée avec de l'ammoniaque à 20% sous refroidissement efficace. Le précipité jaune a été filtré, lavé avec de l'eau et séché sous vide. On a obtenu 41,5 g de 1-méthyl-3-hydroxyisoquinoléine (rendement 90%).

La 1-méthyl-3-hydroxyisoquinoléine ainsi obtenue a ensuite été tosylée.

Une suspension de 41,5 g de 1-méthyl-3-hydroxyisoquinoléine a été agitée avec de la pyridine (250 ml) sous refroidissement dans un bain de glace. On a ensuite progressivement ajouté en 30 min du chlorure de p-toluènesulfonyle (70 g, 1,5 équivalent). Le composé de départ jaune a alors disparu. La réaction a été suivie par chromatographie couche mine. Dès que la réaction a été terminée, on a ajouté de l'eau (50 ml) et agité pendant encore une heure. Le mélange a été dilué dans 700 ml d'eau et neutralisé avec du Na_2CO_3 solide. Le précipité formé a été filtré, lavé soigneusement avec de l'eau et séché. On a obtenu 70,5 g d'un produit non hygroscopique stable à l'air (rendement 86%).

La 1-méthyl-3-p-toluènesulfonyloxyisoquinoléine ainsi obtenue a été ensuite couplée selon le mode opératoire décrit par M. Tiecco et al. dans SYNTHESIS 736, 1984.

Dans un ballon à trois tubulures, équipé d'un agitateur magnétique, purgé à l'argon, on a introduit 1 l de diméthylformamide (DMF), 236,3 g de triphénylphosphine et 53,5 g de $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ qui ont formé une solution bleu-vert foncé. Lorsque la température du bain d'huile a atteint 50°C , on a ajouté 14,64 g de poudre de zinc et la couleur de la solution est passée au rouge-brun. Après une heure, la solution du produit de départ (70,5 g dans 200 ml de DMF), à savoir la 1-méthyl-3-p-tolène-sulfonyloxyisoquinoléine, a été ajoutée rapidement, goutte à goutte

et sous agitation, sous chauffage à 50°C, lequel a été maintenu pendant 6 h. Après refroidissement jusqu'à la température ambiante, le mélange réactionnel a été versé dans 4 l d'ammoniac dilué (1,5 l de H₂O et 500 ml de NH₃ à 20%). Un courant d'air vigoureux a été envoyé dans la suspension pour oxyder le complexe Ni°(Ph₃P)₄ (Ph = phényle). La fin de l'oxydation a été indiquée par la disparition de la couleur brune. La suspension a été filtrée, lavée avec de l'eau et placée dans 400 ml de HCl à 20% pour transformer la biisoquinoléine en son chlorhydrate insoluble dans l'eau. La suspension a été agitée avec deux portions de 400 ml d'éther éthylique pour éliminer la triphénylphosphine et la couche acide a été filtrée, lavée avec 100 ml d'eau et de l'acétone pour éliminer les traces de Ph₃P et de Ph₃PO. Le chlorhydrate a été placé dans un ballon à fond rond avec 200 ml d'ammoniaque à 20% et agité toute la nuit pour libérer la base. Le produit blanc obtenu (26 g), à savoir la 1,1'-diméthyl-3,3-biisoquinoléine, a été filtré, lavé soigneusement avec de l'eau et séché sous vide (rendement 81%). Ce produit était peu soluble dans la plupart des solvants et légèrement soluble dans CHCl₃ et THF.

La 1,1'-diméthyl-3,3'-biisoquinoléine ainsi obtenue a été ensuite bromée pour former le 1,1'-bis-(bromométhyl)-3,3'-biisoquinoléine.

1,20 g de 1,1'-diméthyl-3,3'-biisoquinoléine ont été dissous dans 500 ml de CCl₄ au reflux et du N-bromosuccinimide (2,26 g, 3 équivalents) a été ajouté. Après 10 min, 10 g de 2,2'-azobis(2-méthylpropionitrile) ont été ajoutés. La réaction a été suivie par chromatographie couche mince. Deux autres portions d'initiateur (10 mg chacune) ont été ajoutées en 1 h. Après 3 h, la solution a été évaporée jusqu'à siccité et le résidu a été traité avec 150 ml de méthanol, agité pendant 30 min et filtré. Le solide obtenu a été lavé avec 100 ml de méthanol. Le gâteau de filtration a été lavé sous vide, dissous dans du toluène bouillant (100 ml) et filtré rapidement. Le produit a précipité pendant la nuit au réfrigérateur (1,28 g - rendement 68%).

35 b) Préparation du composé macropolycyclique de formule 12

A un mélange agité de 1,416 g du macrocycle N₂O₄ et

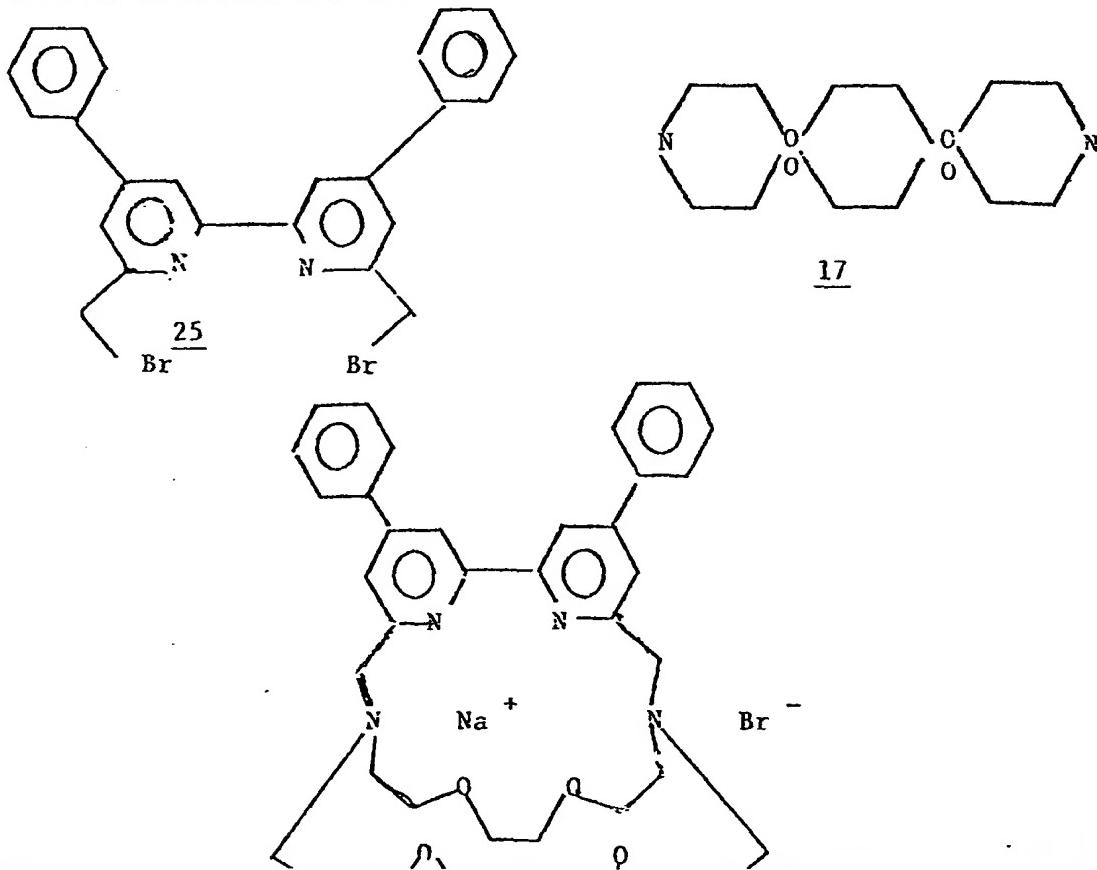
0180492

suspension de 1,1'-bis(bromométhyl)-3,3'-biisoquinoléine dans CH₃CN (100 ml). L'agitation a été maintenue pendant 20 h. Après filtration et lavage avec du CH₃CN et évaporation, on a obtenu un produit brut qui a été chromatographié deux fois, tout d'abord sur 5 alumine (éluants : 3 % CH₃OH dans CHCl₃, puis 10 % CH₃OH dans CHCl₂ v/v) et ensuite sur du gel de silice (éluant : 10 % de CH₃OH dans CHCl₃). Le rendement pour les deux purifications a été de 0,289 g, soit 14 %. Une autre purification a été effectuée par cristallisation dans un mélange éthanol-éther par diffusion de vapeur.

10 c) Préparation du complexe [Eu³⁺ C(22)biisoquinoléine]

24,5 mg (1 équivalent) de nitrate d'europtium anhydre ont été dissous dans 0,5 ml de CH₃CN anhydre. Le complexe de sodium de la (22)biisoquinoléine (37,0 mg) dans 0,3 ml de CH₃CN a été ajouté et le mélange résultant a été traité selon le mode 15 opératoire décrit à l'exemple 2 B. Le précipité jaune pâle obtenu a été dilué dans 3 ml d'acétonitrile et chauffé pendant 2 h. La solution a été laissée à la température ambiante pendant plusieurs jours. On a obtenu un produit cristallisé jaune de formule 12.

Exemple 9 : Préparation du composé macropolylique (22) diphenylbipyridine de formule 18.



a) Préparation de la 6,6'-bis(bromométhyl)-4,4'-diphényl-2,2'-bipyridine (16)

Ce composé a été préparé à partir de la 4,4'-diphényl-2,2'-bipyridine disponible dans le commerce, selon le mode opératoire ci-après :

- 6,6'-diméthyl-4,4'-diphényl-2,2'-bipyridine

A une suspension agitée de 4,4'-diphényl-2,2'-bipyridine (4 g, 13 mmol) dans du tétrahydrofurane anhydre (THF), refroidie avec un bain de glace, on a ajouté goutte à goutte du méthyllithium 1,5 M (3 équivalents) sous atmosphère d'azote. Après cette addition, la solution a été agitée pendant encore 30 min dans les mêmes conditions. Le mélange rouge foncé obtenu a été ensuite chauffé et agité à 40°C pendant 3 h sous azote.

Un excès d'eau a été lentement ajouté à 0°C sous azote. La phase organique a été séparée et la phase aqueuse a été extraite trois fois avec du dichlorométhane. On a ensuite ajouté du dioxyde de manganèse (20 à 40 fois le poids du composé de départ) à la solution organique orange. Le mélange a été agité à la température ambiante pendant 30 à 50 min. La réaction a été suivie par chromatographie couche mince (Al_2O_3 - éluant : toluène).

On a ensuite ajouté du sulfate de magnésium au mélange réactionnel, qui a été agité pendant 30 min supplémentaires. On a ensuite filtré et évaporé le filtrat. Le résidu a été chromatographié sur alumine (éluant : toluène/hexane 1:1) et on a obtenu deux produits :

la 6,6'-diméthyl-4,4'-diphényl-2,2'-bipyridine (0,85 g ; 19 %)

la 6-monométhyl-4,4'-diphényl-2,2'-bipyridine (0,45 g ; 10,8 %)

- 6,6'-diméthyl-4,4'-diphényl-2,2'-bipyridine-N,N'-dioxyde

Dans un ballon de 250 ml contenant une solution du composé ci-dessus (0,28 g, 0,83 mmol) dans le chloroforme (60 ml) agitée et refroidie au bain de glace on a ajouté graduellement une solution d'acide m-chloroperbenzoïque (0,57 g - 3,3 mmol) dans le chloroforme (60 ml). L'agitation a été poursuivie pendant 3 h, pendant laquelle on a laissé le mélange revenir à la température ambiante.

Le mélange réactionnel a été traité avec une solution aqueuse de bicarbonate de sodium (3,3 mmol) agitée pendant 30 min

La phase organique a été séparée et évaporée sous vide. Le résidu a été redissous dans le dichlorométhane (CH_2Cl_2) et passé sur une colonne d'alumine basique. Une seconde chromatographie a été effectuée sur de l'alumine standard pour purifier complètement le produit (0,21 g ; 68 %).

5 - 6,6'-bis(acétoxyméthyl)-4,4'-diphényl-2,2'-bipyridine

On a chauffé pendant une heure au reflux 0,21 g (0,57 mmol) du composé ci-dessus dans de l'anhydride acétique (1,3ml). La solution a été concentrée sous vide et du toluène a été ajouté 10 jusqu'à la formation de l'azéotrope du mélange.

Le solide résultant a été redissous dans du dichlorométhane, lavé avec une solution aqueuse à 10 % de bicarbonate de sodium, séché et le solvant a été évaporé. Le produit brut a été passé sur une colonne de gel de silice et élué avec du dichlorométhane pour donner 0,126 g (49 % rendement) du composé attendu.

15 - 6,6'-bis(bromométhyl)-4,4'-diphényl-2,2'-bipyridine 16

Une solution agitée du composé ci-dessus (0,053g) ; 0,117 mmol) et d'acide bromhydrique à 47 % (0,9 ml) a été chauffée pendant 4 h à 130°C.

20 La solution a été ensuite refroidie dans un bain de méthanol/glace. On y a ajouté 15 ml d'eau, 40 ml de chloroforme, puis, graduellement, une solution saturée de carbonate de sodium jusqu'à ce que le pH de la solution devienne alcalin.

La phase organique a été séparée et la phase 25 aqueuse a été extraite avec du chloroforme (2 fois 10 ml). Toutes les fractions organiques ont été combinées et évaporées. Le résidu a été chromatographié sur une colonne d'alumine avec le chloroforme comme éluant. On a obtenu 40 mg (rendement 69 %) du dibromure de formule 16.

30 b) Préparation du sel $[\text{Na}^+ \text{C}(22)\text{diphénylebipyridine Br}]$ de formule 18

On a opéré selon le mode opératoire décrit à l'exemple 5 B en utilisant :

21,2 mg (0,081 mmol) du macrocycle N_2O_4 de formule 17

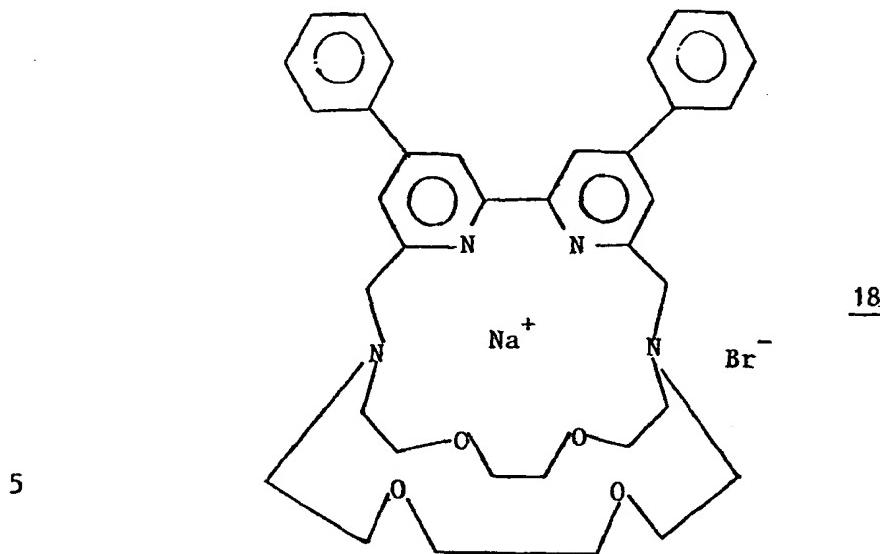
43 mg (0,40 mmol) de carbonate de sodium

35 40 mg (0,081 mmol) du dibromure de formule 16

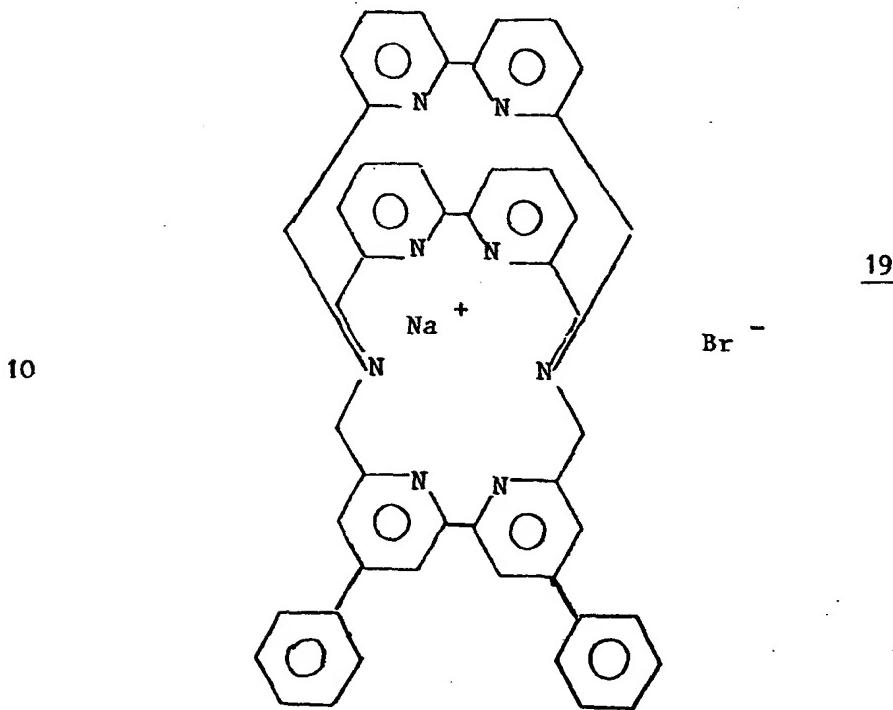
On a obtenu 29,8 mg (rendement 53 %) du complexe

0180492

41



Exemple 10 - Préparation du complexe macropolycyclique diphényl-bipyridine-bis-bipyridine de formule 19



On a répété le mode opératoire de l'exemple ci-dessus en utilisant le macrocycle bis-pyridine de formule (5) (exemple 5) à la place du macrocycle N_2O_4 de formule 17.

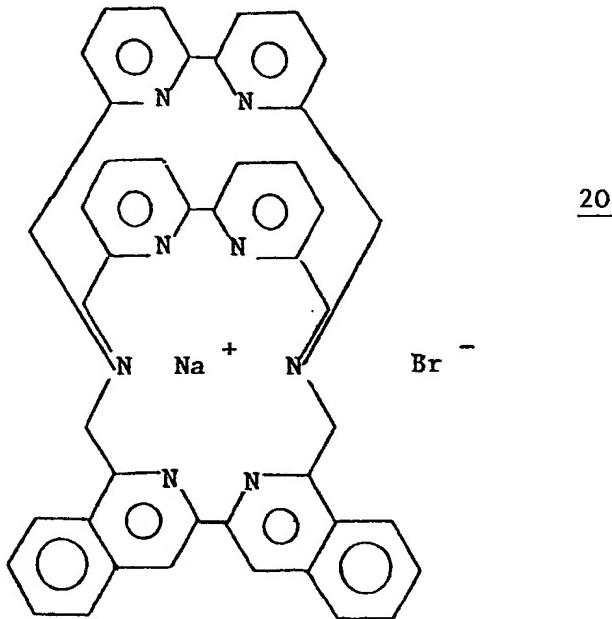
On a utilisé :

- 5 24,7 mg (0,063 mmol) du macrocycle bis-pyridine 5
 31,1 mg (0,063 mmol) du bibromure de formule 16
 0,1 mg (0,94 mmol) de carbonate de sodium.

La réaction a duré 23 h et on a obtenu le composé de formule 19 avec un rendement de 20 %.

- 10 Exemple 11 - Préparation du composé macropolycyclique isoquinoléine bis-bipyridine de formule 20

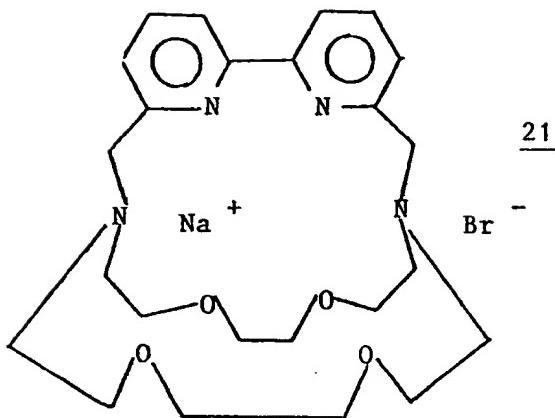
15



- On a répété le mode opératoire de l'exemple 8 en utilisant le macrocycle bis-bipyridine de formule 5 à la place du macrocycle N_2O_4 de formule 11. On a utilisé des quantité équimoléculaires du composé de formule 5 et du dibromure de formule 10, et on a obtenu le composé de formule 20.

Exemple 12 - Préparation du composé macropolycyclique (22)bipyridine

On a opéré selon le mode opératoire de l'exemple 5 en utilisant le macrocycle N_2O_4 de formule 11 à la place du macrocycle bis-bipyridine de formule 5 et on a obtenu le composé macropolycyclique de formule 21 :

5 Exemple 13

En opérant selon le mode opératoire de l'exemple 1 avec les composés macropolycycliques obtenus selon les exemples 9 à 12, on a obtenu respectivement les complexes macropolycycliques ci-après :

- 10 $[\text{Eu}^{3+} \text{ C(22)bipyridine}]$
 $[\text{Eu}^{3+} \text{ C(bpy.bpy.biisoq.)}]$
 $[\text{Eu}^{3+} \text{ C(22)diph.bpy}]$
 $[\text{Tb}^{3+} \text{ C(22)bipyridine}]$

De même, en opérant selon le mode opératoire de l'exemple 5 on a préparé le complexe $[\text{Eu}^{3+} \text{C(macropolyphénanthroline tris-phénanthroline)}]$ en utilisant la 6,6'-bis-bromométhyl-phénanthroline et le macrocycle bis(phénanthrolinediyl)diamine. Le composé macropolycyclique correspondant avait les caractéristiques ci-après : microanalyse : $\text{C}_{42} \text{ H}_{38} \text{ N}_8$, $\text{NaBr}, \text{H}_2\text{O}$ (767,6)

- 20 Calculé : C 65,71 H 4,17 N 14,6
Trouvé : C 65,23 H 4,26 N 13,10
RMN ^1H : solvant CDCl_3
4,03 4,45 (très large ; AB, 12H, CH_2)
25 7,66 (d, $J=8,1$; 6H ; H-C(3) ; H-C(8))
7,78 (s, 6H, H-C(5); H-C(6))
8,27 (d, $J=8,1$; 6H ; H-C(4) ; H-C(7))

Caractéristiques fluorescentes des cryptates de l'invention.a) pics d'excitation pour une longueur d'onde d'émission donnée

Pour chaque complexe, on a déterminé, pour une longueur d'onde d'émission donnée, caractéristique de l'ion de terre rare du complexe, les longueurs d'ondes d'excitation ; les pics d'excitation enregistrés ne correspondent pas à ceux de l'ion de terre rare seul. Par ailleurs, on a constaté qu'en excitant le complexe à la longueur d'onde correspondant au pic d'excitation déterminé ci-dessus, le maximum de fluorescence était caractéristique de l'ion de terre rare.

Les déterminations ci-dessus ont été effectuées avec un spectromètre PERKIN-ELMER LS 5 dans les conditions opératoires indiquées dans le tableau I ci-après.

b) mesure de la durée de vie τ des cryptates d'europtium et de terbium

Sur un spectromètre LS5, on a enregistré le spectre d'émission du pic situé entre 610 et 620 nm pour l'europtium et entre 540 et 550 pour le terbium, la solution étant excitée dans l'un des pics d'absorption. On a opéré en mode "phosphorescence", la valeur de la fenêtre a été fixée à 1 ms = tg. Les enregistrements ont été réalisés pour plusieurs valeurs de t_d (délai), soit 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 et 0,5 ms. On a mesuré l'intensité du pic I_t et déterminé τ par la formule :

$$I_t = I_o e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = \frac{0,434 t}{\log I_o - \log I_t}$$

En traçant la courbe $\log I_t$ en fonction de t_d , on peut déterminer I_o et calculer τ . Les résultats obtenus figurent dans le tableau II ci-après.

0180492

45

TABLEAU I
CARACTÉRISTIQUES D'EXCITATION ET D'EMISSION DES COMPLEXES DE L'INVENTION
(Perkin Elmer LS 5)

Complexe	Concentration (solvant)	largeur des fentes	facteur d'ex- pansion	EXCITATION		λ d'excita- tion donnée	maximum de fluorescence observé à :
				λ d'émis- sion donnée	λ d'excita- tion enregistrée		
[Eu ³⁺ C(22)phén]	3,7.10 ⁻⁶ mol/l (eau)	2,5/20 nm	10	615 nm	$\left\{ \begin{array}{l} 290 \text{ nm (pic)} \\ 312 \text{ nm (épau-} \\ \text{llement)} \\ 330 \text{ nm (")} \end{array} \right.$	290 nm	{615 nm (pic) 593 (second pic)}
[Eu ³⁺ C(22)phén- amide]	2,5.10 ⁻⁴ mol/l (eau)	2,5/10 nm	3	613 nm	$\left\{ \begin{array}{l} 290 \text{ nm (pic)} \\ 323 \text{ nm (pic)} \\ 333 \text{ nm (épau-} \\ \text{llement)} \\ 345 \text{ nm (épau-} \\ \text{llement)} \end{array} \right.$	290 nm	613 nm 590 nm
[Eu ³⁺ C(macropoly- cycle tris-bipy- ridine)]	7.10 ⁻⁷ mol/l (tampon phos- phate 0,1 M pH 7,5)	2,5/10 nm	15	617 nm	maximum à 300 nm	300 nm	maximum à 617 nm
[Eu ³⁺ C(phénan- throline bis-bi- pyridine)]	2,8.10 ⁻⁵ mol/l (eau)	2,5/10 nm	2			280 nm	590 nm 613 nm

TABLEAU I (suite)
CARACTÉRISTIQUES D'EXCITATION ET D'EMISSION DES COMPLEXES DE L'INVENTION
(Perkin Elmer LS 5)

Complexe	Concentration (solvant)	largeur des fentes	facteur d'ex- pansion	EXCITATION		λ d'excita- tion enregistrée	λ d'excita- tion donnée	EMISSION
				λ d'émis- sion donnée	λ d'excita- tion enregistrée			
[Eu ³⁺ C(22)bipyri- dine]	10 ⁻⁵ M (eau)	2,5 / 10 nm	10	617 nm	{ 237 nm (pic) 303 nm (pic)	310 nm		{ 617 nm 592 nm
[Eu ³⁺ C(22)bis-iso- quinoléine]	10 ⁻⁵ M tampon tris 0,01 M pH 7	2,5 / 10 nm	0,5	617	355 nm (pic) 325 nm (pic)	325 nm	617 nm 592 nm	617 nm 592 nm
[Eu ³⁺ C(22)biphé- nylbipyridine]	10 ⁻⁵ M H ₂ O	2,5 / 10 nm	5	617 nm	254 (pic) 323 (pic)	320 nm		617 nm 592 nm
[Eu ³⁺ C(bis-bipy- ridine bi-isoquinoléine)]	0,06 mg/ 2,4 ml d'eau	2,5 / 10 nm	20	617 nm	310 (pic)	310 nm		617 nm 592 nm

TABLEAU I (suite)
CARACTÉRISTIQUES D'EXCITATION ET D'EMISSION DES COMPLEXES DE L'INVENTION
(Perkin Elmer LS 5)

Complexe	Concentration	largeur des fentes	facteur d'expansion	EXCITATION		λ d'excitation enregistrée donnée	maximum de fluorescence observé à :
				λ d'émission donnée	λ d'excitation enregistrée		
[Eu ³⁺ C(22) anthracène]	0,2 mg dans 3 ml d'eau	2,5/10 nm	0,2	613 nm	287 nm (pic) 317 nm (épaulement)	287 nm	590 nm (pic) 613 nm (pic)
[Eu ³⁺ C(22) pyridine amide]*	$2 \cdot 10^{-4}$ mol/l (DMSO)	2,5/5 nm	40	—	—	290 nm	613 nm 590 nm
[Tb ³⁺ C 222 B]**	10^{-3} mol/l (DMSO)	2,5/20 nm	15	541 nm	290 nm (épaulement) 333 nm (pic)	290 nm	541 nm 485 nm
[Eu ³⁺ C(tris-phénanthroline)]	0,3 mg/3 ml de tampon tris	2,5/10 nm	5	617 nm	272 (pic)	270 nm	617 nm 593 nm
[Tb ³⁺ C(22)bipyridine]	0,1 mg/2,4 ml H ₂ O	2,5/10 nm	1	617 nm	240 (pic) 305 (pic) 314 (épaulement)	320 nm	545 nm 492 nm 586 nm

* mesure faite en mode phosphorescence ; délai $t_d = 0,1$ milliseconde

** mesure faite en mode phosphorescence ; délai $t_d = 0,2$ milliseconde
 $t_g = 5$ millisecondes

0180492

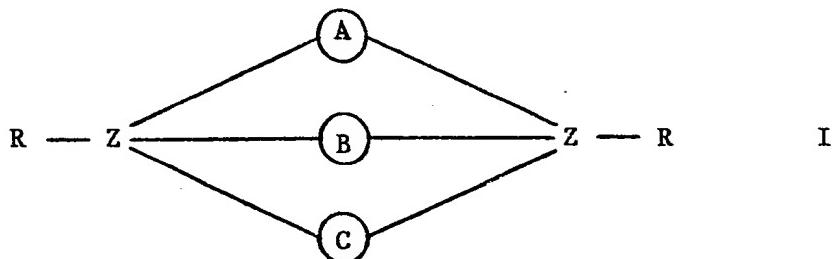
48

TABLEAU II

Complexe macropolycyclique	λ excitation nm	milieu	concentration	C_{ms}
$[\text{Eu}^{3+}\text{C}(22)\text{phén}]$	280	H_2O	$3,7 \cdot 10^{-4}$ M	0,27
$[\text{Eu}^{3+}\text{C}(22)\text{ phén amide}]$	280	H_2O	$2,5 \cdot 10^{-6}$ M	0,21
$[\text{Eu}^{3+}\text{C}(22)\text{bipyridine}]$	310	H_2O	$1,2 \cdot 10^{-5}$ M	0,41
$[\text{Eu}^{3+}\text{C}(22)\text{bi-isoquinoléine}]$	325	tris O_2N pH 7	10^{-5} M	0,135
$[\text{Eu}^{3+}\text{C}(22)\text{biphénylbipyridine}]$	320	H_2O	10^{-5} M	0,32
$[\text{Eu}^{3+}\text{C}(\text{tris-bipyridine})]$	300	tampon phosphate O_2N pH 7,4	$2 \cdot 10^{-7}$ M	0,43
$[\text{Eu}^{3+}\text{C}(\text{bis-bipyridine-}\text{bi-isoquinoléine})]$	311	H_2O	10^{-5} M	0,25
$[\text{Eu}^{3+}\text{C}(\text{tris-phénanthroline})]$	272	tris O_2N pH 7	10^{-4} M	0,32
$[\text{Tb}^{3+}\text{C}(22)\text{bipyridine}]$	318	"	$4 \cdot 10^{-5}$ M	0,72

REVENDEICATIONS

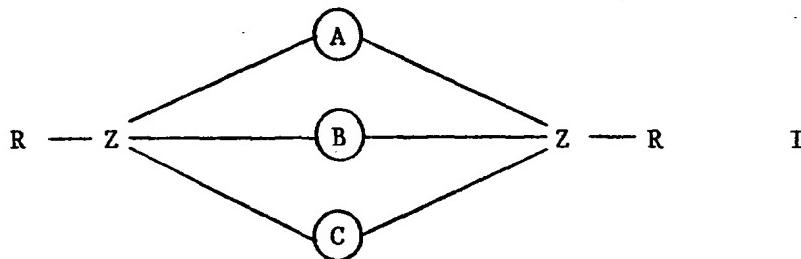
I. Application, à titre de marqueurs de produits biologiques dans les méthodes de détection et de détermination immuno-logiques par fluorescence, des complexes macropolycycliques de terres rares constitués d'au moins un sel de terre rare complexé par un composé macropolycyclique de formule générale :



10 dans laquelle Z est un atome ayant 3 ou 4 valences, R est rien ou représente l'hydrogène, le groupe hydroxy, un groupe amino ou un radical hydrocarboné, les radicaux bivalents (A), (B) et (C), sont indépendamment l'un de l'autre des chaînes hydrocarbonées qui contiennent éventuellement un ou plusieurs hétéroatomes et sont éventuellement interrompues par un hétéromacrocycle, au moins l'un des radicaux (A), (B) ou (C) comportant de plus au moins un motif moléculaire ou étant essentiellement constitué par un motif moléculaire, ledit motif moléculaire possédant une énergie de triplet supérieure à celle du niveau émissif de l'ion de terre rare complexé.

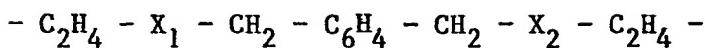
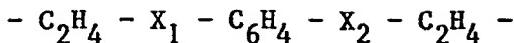
20 2. Application selon la revendication 1, caractérisée
en ce que lesdits complexes de terres rares sont substitués par
un bras liant choisi parmi les radicaux alkylamino, arylamino,
isothiocyanato, cyano, isocyano, thiocyanato, carboxyle, hydroxyle,
mercapto, phénol, imidazole, aldéhyde, époxyde, halogénure : de
25 thionyle, de sulfonyle, de nitrobenzoyle, de carbonyle ; triazo,
succinimid, anhydride, halogénoacétate, hydrazino, dihalogéno-
triazinyle.

3. A titre de produits nouveaux, les complexes macro-polycycliques de terres rares constitués d'au moins un sel de terre rare complexé par un composé macropolycyclique de formule :



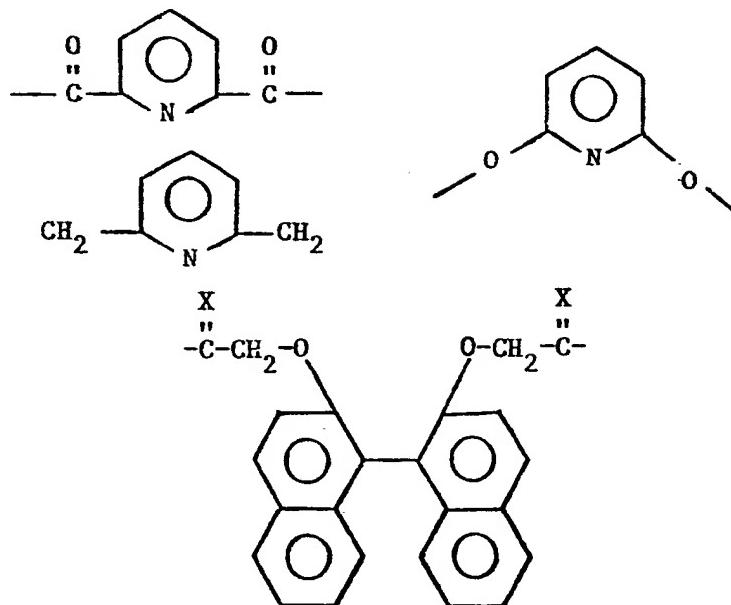
- dans laquelle Z est un atome ayant 3 ou 4 valences, R est rien ou
 5 représente l'hydrogène, le groupe hydroxy, un groupe amino ou un radical hydrocarboné, les radicaux bivalents (A), (B) et (C), sont indépendamment l'un de l'autre des chaînes hydrocarbonées qui contiennent éventuellement un ou plusieurs hétéroatomes et sont éventuellement interrompues par un hétéromacrocycle, au moins l'un
 10 des radicaux (A), (B) ou (C) comportant de plus au moins un motif moléculaire ou étant essentiellement constitué par un motif moléculaire, ledit motif moléculaire possédant une énergie de triplet supérieure à celle du niveau émissif de l'ion de terre rare complexé, à la condition que, lorsque le sel de terre rare est un sel d'euroium
 15 ou de terbium, Z est l'azote, (A) est $(CH_2)_2-O-C_6H_3R-O-(CH_2)_2$ avec R=H ou NH_2 , (B) et (C) ne sont pas simultanément l'un le radical $-(CH_2)_2-O-(CH_2)_2-$, l'autre le radical $-(CH_2)_2-O-(CH_2)_2-O-(CH_2)_2-$.
4. Complexe selon la revendication 3, caractérisé en ce que les chaînes hydrocarbonées sont des chaînes oxyéthylénées ou polyoxyéthylénées.
5. Complexe macropolycyclique selon l'une des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que l'ion de terre rare est choisi parmi l'euroium, le terbium, le samarium et le dysprosium.
6. Complexe macropolycyclique selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que le motif donneur d'énergie a une longueur d'onde de phosphorescence inférieure à 580 nm.
7. Complexe macropolycyclique selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que le motif moléculaire est choisi parmi la phénanthroline, l'anthracène, le benzène, le naphtalène, les bi- et ter-phényle, l'azobenzène, l'azopyridine,

formules ci-après :



X₁ et X₂ pouvant être identiques ou différents désignent l'oxygène,
5 l'azote ou le soufre

10

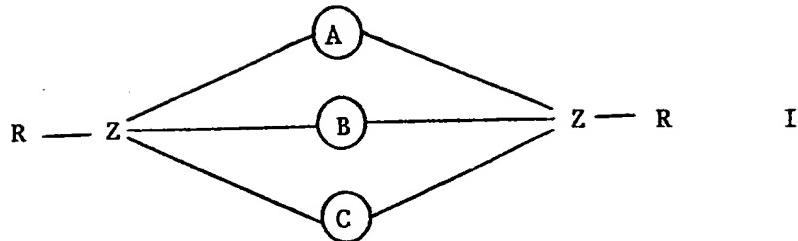


X étant l'oxygène ou l'hydrogène.

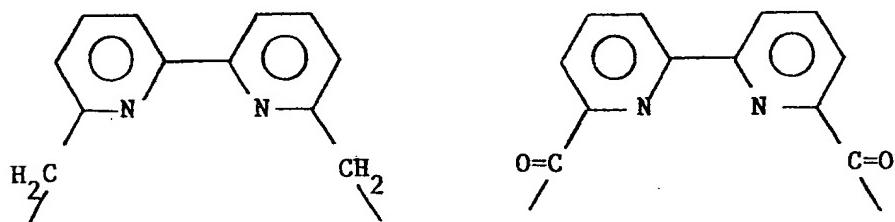
8. Complexé macropolycyclique selon l'une quelconque des revendications 3 à 8, caractérisé en ce qu'il est constitué de l'ion terbium ou europium complexé par l'un des composés macrocycliques ci-après :

(22)phénanthroline ; (22)phénanthroline amide ; (22)anthracène ;
 (22)anthracène amide ; (2 2)bi-isoquinoléine ; (2 2)biphényl-bis-pyridine ; (2 2)bipyridine (2 2)bi-pyridine amide ; les macropolycycles tris-bipyridine, tris-phénanthroline, phénanthroline-bis-bipyridine, bi-isoquinoléine-bis-bipyridine, bis-bipyridine diphényl-bipyridine.

9. Composé macropolycyclique répondant à la formule :



dans laquelle Z est un atome ayant 3 ou 4 valences, R est rien ou
 5 représente l'hydrogène, le groupe hydroxy, un groupe amino ou un radical hydrocarboné, les radicaux bivalents (A), (B) et (C), sont indépendamment l'un de l'autre des chaînes hydrocarbonées qui contiennent éventuellement un ou plusieurs hétéroatomes et sont éventuellement interrompues par un hétéromacrocycle, au moins
 10 l'un des radicaux (A), (B) ou (C) comportant de plus au moins un motif moléculaire ou étant essentiellement constitué par un motif moléculaire, ledit motif moléculaire possédant une énergie de triplet supérieure à celle du niveau émissif de l'ion de terre rare complexé et étant choisi parmi la phénanthroline, l'anthracène,
 15 les bipyridines et les isoquinoléines, à la condition que, lorsque Z est l'azote, (A) répond à l'une des formules ci-après :



(B) et (C) ne sont pas simultanément $-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-$.

10. Composé selon la revendication 9, caractérisé en ce que Z est l'azote et (A) et (B) sont des chaînes polyoxyéthylénées.
 20

11. Composé selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce qu'il est l'un des composés ci-après :

(22)phénanthroline ; (22)phénanthroline amide ; (22)anthracène, (22)anthracène amide ; (22)bi-isoquinoléine ; (éé) diphénylbipyridine.

12. Composé selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il est le macropolycycle(tris-bipyridine), le macropolycycle-(phénanthroline-bis-bipyridine), le macropolycycle bi-isoquinoléine-bis-bipyridine, le macropolycycle tris-phénanthroline et le macro-
5 polycycle-bis-bipyridine diphénylbipyridine.

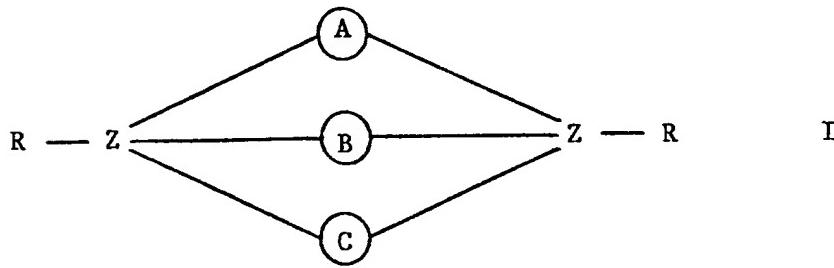
13. Complexe biologique, caractérisé en ce qu'il est constitué d'une molécule biologiquement active associée par couplage avec, ou adsorption sur, un complexe macropolycyclique de terre rare tel que défini dans les revendications 1, 3 à 8.

10 14. Complexe biologique selon la revendication 13, caractérisé en ce que la molécule biologiquement active est choisie parmi les antigènes, les anticorps, les anticorps monoclonaux, les fragments et combinaisons Ac-fragments, les drogues, les récepteurs, les hormones, les récepteurs hormonaux, les bactéries, les stéroïdes, 15 les aminoacides, les peptides, les virus, les vitamines, les nucléotides ou polynucléotides, les enzymes, leurs substrats, les lectines, les acides nucléiques, l'ADN et l'ARN.

15. Procédé d'exaltation de la fluorescence d'ions de terres rares, caractérisé en ce qu'il consiste à complexer au moins 20 un ion de terre rare avec un composé macropolycyclique tel que défini dans les revendications 1, 3 à 8, et à exciter le motif donneur dudit composé.

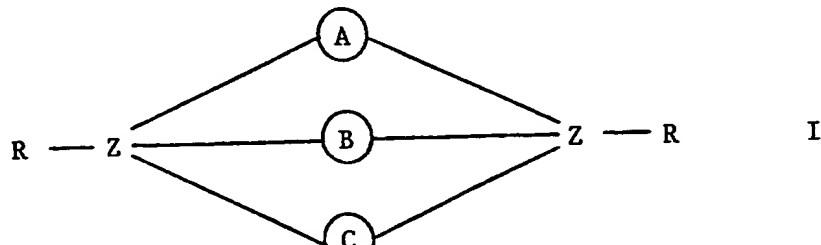
REVENDICATIONS Pour l'ETAT CONTRACTANT AT.

1. Procédé d'exaltation de la fluorescence d'un ion de terre rare, caractérisé en ce qu'il consiste à complexer un ion de terre rare avec un composé macropolycyclique de formule générale I ci-après ou un de ses sels:



5 dans laquelle Z est un atome ayant 3 ou 4 valences, R est rien ou représente l'hydrogène, le groupe hydroxy, un groupe amino ou un radical hydrocarboné, les radicaux bivalents A, B et C, sont indépendamment l'un de l'autre des chaînes hydrocarbonées qui contiennent éventuellement un ou plusieurs hétéroatomes et qui sont 10 éventuellement interrompues par un hétéromacrocycle, au moins l'un des radicaux A, B ou C comportant de plus au moins un motif moléculaire ou étant essentiellement constitué par un motif moléculaire, ledit motif moléculaire possédant une énergie de triplet supérieure à celle du niveau émissif de l'ion de terre rare complexé et 15 à exciter le motif donneur dudit composé macro-polycyclique.

2. Procédé d'obtention de complexes macropolycycliques de terres rares caractérisé en ce qu'il consiste à faire réagir au moins un sel de terre rare avec un composé macropolycyclique de formule:



dans laquelle Z est un atome ayant 3 ou 4 valences, R est rien ou représente l'hydrogène, le groupe hydroxy, un groupe amino ou un radical hydrocarboné, les radicaux bivalents (A), (B) et (C), sont indépendamment l'un de l'autre des chaînes hydrocarbonées qui

5 contiennent éventuellement un ou plusieurs hétéroatomes et sont éventuellement interrompues par un hétéromacrocycle, au moins l'un des radicaux (A), (B) ou (C) comportant de plus au moins un motif moléculaire ou étant essentiellement constitué par un motif moléculaire, ledit motif moléculaire possédant une énergie de triplet

10 supérieure à celle du niveau émissif de l'ion de terre rare complexé, à la condition que, lorsque le sel de terre rare est un sel d'euroium ou de terbium, Z est l'azote, A est $(CH_2)_2 - O-C_6H_3R-O-(CH_2)_2$ avec R = H ou NH₂, (B) et (C) ne sont pas simultanément l'un le radical $-(CH_2)_2 - O-(CH_2)_2^-$, l'autre le radical $-(CH_2)_2 - O-(CH_2)_2 - O-(CH_2)_2^-$

15

(CH₂)₂⁻.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que les chaînes hydrocarbonées sont des chaînes oxyéthylénées ou polyoxyéthylénées.

4. Procédé selon l'une des revendications 2 ou 3,

20 caractérisé en ce que l'ion de terre rare est choisi parmi l'euroium, le terbium, le samarium et le dysprosium.

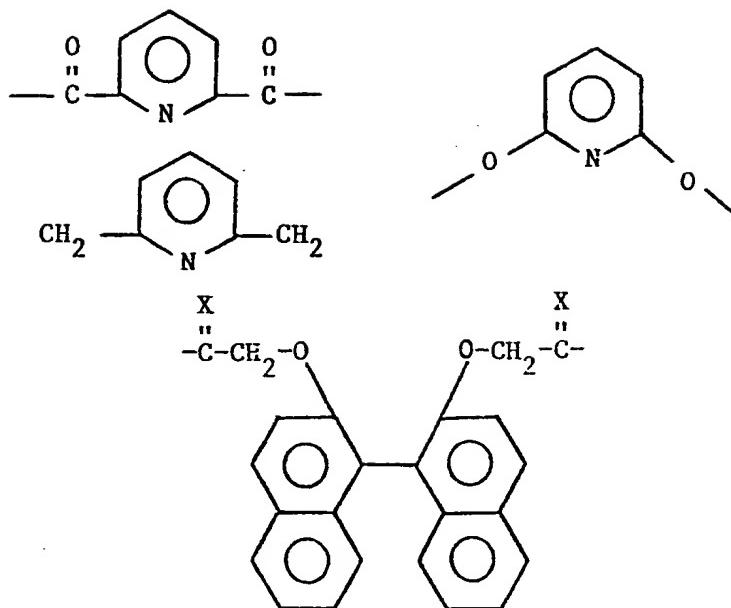
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que le motif donneur d'énergie a une longueur d'onde de phosphorescence inférieure à 580 nm.

25 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que le motif moléculaire est choisi parmi la phénanthroline, l'anthracène, le benzène, le naphtalène, les bi- et terphényle, l'azobenzène, l'azopyridine, la pyridine, les bipyridines, les bi-quinoléines et les composés de formules ci-après:

30 $- C_2H_4 - X_1 - C_6H_4 - X_2 - C_2H_4 -$

$- C_2H_4 - X_1 - CH_2 - C_6H_4 - CH_2 - X_2 - C_2H_4 -$

X₁ et X₂ pouvant être identiques ou différents désignent l'oxygène, l'azote ou le souffre.

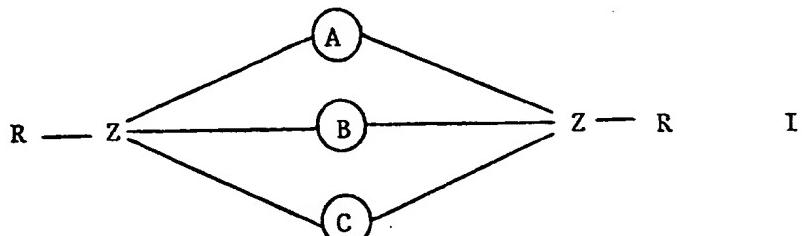


X étant l'oxygène ou l'hydrogène.

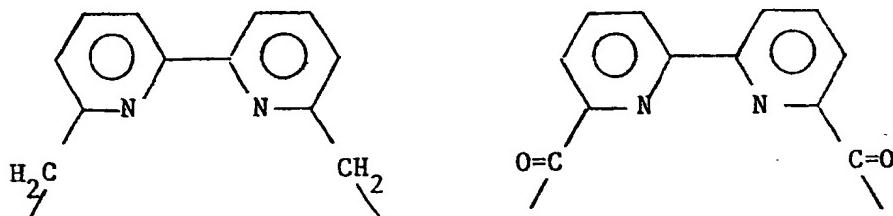
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, caractérisé en ce que l'ion de terre rare est l'ion d'euroium ou de terbium et en ce qu'on le complexe avec l'un des composés macro-
5 polycycliques ci-après :

(22) phénanthroline ; (22) phénanthroline amide ; (22) anthracène ;
 (22)anthracène amide ; (22) bi-isoquinoléine ; (22) biphenyl-bis-pyridine ; (22) bipyridine ; (22) bipyridine amide; les macropoly-
 10 cycles tris-bipyridine, tris-phénanthroline, phénanthroline-bis-bipyridine, bi-isoquinoléine-bis-bipyridine, bis-bipyridine diphenyl-
 bipyridine.

8. Procédé pour l'obtention de composés macropolycycliques de formule



dans laquelle Z est un atome ayant 3 ou 4 valences, R est rien ou représente l'hydrogène, le groupe hydroxy, un groupe amino ou un radical hydrocarboné, les radicaux bivalents (A), (B) et (C), sont indépendamment l'un de l'autre des chaînes hydrocarbonées qui contiennent éventuellement un ou plusieurs hétéroatomes et sont éventuellement interrompues par un hétéromacrocycle, au moins l'un des radicaux (A), (B) ou (C) comportant de plus au moins un motif moléculaire ou étant essentiellement constitué par un motif moléculaire, ledit motif moléculaire possédant une énergie de triplet supérieure à celle du niveau émissif de l'ion de terre rare complexé et étant choisi parmi la phénanthroline, l'anthracène, les bipyridines et les isoquinoléines, à la condition que, lorsque Z est l'azote, (A) répond à l'une des formules ci-après :



(B) et (C) ne sont pas simultanément $-(CH_2)_2-O-(CH_2)_2-O-(CH_2)_2-$, caractérisé en ce qu'il consiste à condenser des composés chimiques comportant chacun un des radicaux (A), (B) ou (C) et des groupes terminaux capables d'être substitués ou comportant des radicaux facilement éliminables.

9. Procédé selon la revendication 8, pour l'obtention de composés macropolycycliques de formule I dans laquelle 2 est l'azote (A) et (B) sont des chaînes polyoxyéthylenées caractérisé en ce qu'il consiste :

1) à faire réagir:

- le macrocycle azoté constitué par les deux chaînes polyoxyéthylénées avec

- une chaîne hydrocarbonée comportant ledit motif moléculaire, ladite chaîne ayant des groupes terminaux clivables, tels que par exemple des groupes halogénés,

dans un solvant anhydre et éventuellement en présence d'un agent réducteur tel que l'hydrure de sodium ou le carbonate de sodium et

10. Procédé selon l'une des revendications 8 ou 9,
caractérisé en ce que le macrocycle azoté est choisi parmi les macro-
cycles C (22), bis-bipyridine, et bis-phénanthroline, et en ce que
la chaîne hydrocarbonée comportant la chaîne hydrocarbonée est choisie
5 parmi les composés ci-après:
- 10 - 2,9 - dibromomethyl 1,10 phénanthroline,
- 2,9 - dichlorocarbonyl 1,10 -phénanthroline
- 6,6' -bis-bromométhyl - 2,2' -bipyridine,
- 2,9 - bis-bromométhyl 1,10 - phénanthroline,
- 1,1' bis - bromométhyl 3,3 - biisoquinoléine,
- 6,6'-bis bromométhyl - 4,4' -diphényl- 2,2' bipy-
ridine,
- 9,10 - bis-chlorocarbonyl méthyl - anthracène



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0180492

Numeros de la demande

EP 85 40 1838

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
X	FR-A-2 088 519 (E.I. DU PONT DE NEMOURS) * Exemple 6 *	3,6,7, 9,10	C 07 D 273/00 G 01 N 33/533 C 07 D 498/22 C 07 F 5/00 // (C 07 D 498/22 C 07 D 273:08 C 07 D 273:08 C 07 D 221:10 C 07 D 221:10) (C 07 D 498/22 C 07 D 273:08 C 07 D 273:08) (C 07 D 498/22 C 07 D 259:00 C 07 D 259:00 C 07 D 221:10 C 07 D 221:10 C 07 D 221:10 -/-
A	--- CHEMICAL ABSTRACTS, vol. 99, no. 10, 5 septembre 1983, page 676, no. 81500q, Columbus, Ohio, US; O.A. GANSOW et al.: "Preparation and characterization of some bifunctional lanthanide cryptates", & INORG. CHIM. ACTA 1983, 72(1), 39-41 * En entier *	3-10	C 07 D 273:08 C 07 D 273:08 C 07 D 221:10 C 07 D 221:10) (C 07 D 498/22 C 07 D 273:08 C 07 D 273:08) (C 07 D 498/22 C 07 D 259:00 C 07 D 259:00 C 07 D 221:10 C 07 D 221:10 C 07 D 221:10 -/-
A	--- EP-A-0 085 320 (MERCK PATENT GmbH) * Revendications *	9	C 07 D 273:08 C 07 D 273:08 C 07 D 221:10 C 07 D 221:10 C 07 D 221:10 -/-
D,A	--- EP-A-0 068 875 (EASTMAN KODAK CO.) * Revendications *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
D,A	--- CHEM. BER., vol. 111, 1978, pages 200-204, Weinheim, DE; E. BUHLEIER et al.: "2,2'-Biparidin als Baustein für neue Aza-Kronenether und Cryptanden" * Page 20 *	9,10	C 07 D 273/00 G 01 N 33/00 C 07 D 498/00 C 07 F 5/00
	---	-/-	
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE	Date d'achèvement de la recherche 03-01-1986	Examinateur PAUWELS G.R.A.	

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

- X : particulièrement pertinent à lui seul
- Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
- A : arrière-plan technologique
- O : divulgation non-écrit
- P : document intercalaire

- T : théorie ou principe à la base de l'invention
- E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
- D : cité dans la demande
- L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant